

**HERRAMIENTA PARA FACILITAR EL APRENDIZAJE DE LISTAS
ENLAZADAS EN C++ UTILIZANDO REALIDAD AUMENTADA EN
DISPOSITIVOS MÓVILES**

INVESTIGADOR:
EDGARDO JAVIER DÍAZ PÉREZ



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
CARTAGENA DE INDIAS, 2017

**HERRAMIENTA PARA FACILITAR EL APRENDIZAJE DE LISTAS
ENLAZADAS EN C++ UTILIZANDO REALIDAD AUMENTADA EN
DISPOSITIVOS MÓVILES**

TRABAJO DE GRADO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
INTELIGENCIA COMPUTACIONAL

GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIMATICA

INVESTIGADOR:
EDGARDO JAVIER DÍAZ PÉREZ

DIRECTOR: ING. DAVID ANTONIO FRANCO BORRÉ (MSC)



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
CARTAGENA DE INDIAS, 2017

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. GENERAL.....	19
3.2. ESPECÍFICOS.....	19
4. ALCANCE DEL PROYECTO	20
5. MARCO DE REFERENCIA	22
5.1. ESTADO DEL ARTE	22
5.1.1. Realidad Aumentada.....	22
5.1.2. M-Learning.....	26
5.1.3. Herramientas que facilitan el aprendizaje de Estructuras de Datos	28
5.2. ANTECEDENTES	29
5.3. MARCO TEÓRICO	30
5.3.1. Estructuras de Datos	30
5.3.2. Realidad Aumentada.....	35
5.3.3. Android OS.....	43

5.3.4. M-learning	44
5.3.5. Metodología combinada entre AODDEI e ISBC	45
6. METODOLOGÍA	50
6.1. DISEÑO UTILIZADO	51
6.2. PROCEDIMIENTO.....	52
7. DESARROLLO.....	54
7.1. FASE I: ANÁLISIS DEL NEGOCIO	54
7.2. FASE II: DISEÑO E IDENTIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS.....	56
7.2.1. Identificación y Análisis de Herramientas.....	56
7.2.2. Herramientas para la realización de las animaciones 2D	58
7.2.3. Diseño de la estructura de los OVAs y de la aplicación.....	59
7.3. FASE III: CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE LOS COMPONENTES DE INGENIERÍA.....	64
7.4. FASE IV: EVALUACIÓN E IMPLANTACIÓN	66
7.4.1. Evaluación	66
7.4.2. Implantación	72
8. CONCLUSIONES.....	73
9. RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distintos tipos de listas enlazadas	32
Ilustración 2. Esquema de una lista doblemente enlazada	32
Ilustración 3. Esquema de una lista circular simplemente enlazada	33
Ilustración 4. Esquema de una pila	34
Ilustración 5. Esquema de una cola.....	35
Ilustración 6. Continuo de la virtualidad de Milgram.....	36
Ilustración 7. Modelo de dominio del sistema.	60
Ilustración 8. Diagrama de casos de uso.	61
Ilustración 9. Diagrama de componentes del aplicativo desarrollado.....	63
Ilustración 10. Diagrama de secuencia de la aplicación.	63
Ilustración 11. Imagen alusiva a uno de los pasos para insertar un elemento al inicio de una lista simplemente enlazada.....	64
Ilustración 12. Marcador para la operación de insertar un elemento al inicio de una lista simplemente enlazada.	65
Ilustración 13. Target Manager de Vuforia.....	66
Ilustración 14. Resultado de evaluar el nivel de dificultad de la aplicación.	68
Ilustración 15. Resultado de evaluar la coherencia entre el contenido informativo y la temática que es objeto de estudio.....	68
Ilustración 16. Resultado de evaluar la pertinencia del contenido temático.	69
Ilustración 17. Resultado de evaluar la coherencia entre el contenido evaluativo y el contenido temático.	69
Ilustración 18. Resultado de evaluar la velocidad de respuesta de la aplicación.	70
Ilustración 19. Resultado de evaluar la efectividad en la detección de los marcadores.....	70
Ilustración 20. Resultado de evaluar a la aplicación como una herramienta de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados observados por Montgomery sobre los estilos de aprendizaje	15
Tabla 2. Fases de AODDEI, fases de ISBC y metodología combinada	49
Tabla 3. Implementación de la metodología mixta para el cumplimiento de los objetivos.	53
Tabla 4. Descripción del análisis del dominio.	54
Tabla 5. División en categorías de las distintas operaciones en listas enlazadas.....	55
Tabla 6. Requerimientos funcionales del sistema	56
Tabla 7. Características de los SDKs analizados	57
Tabla 8. Cuadro comparativo de los SDKs analizados	58
Tabla 9. Estructura de los Objetos Virtuales de Aprendizaje	59
Tabla 10. Descripción de la aplicación.	59
Tabla 11. Componentes de Vuforia SDK en Unity 3D.....	62

GLOSARIO

ANDROID: Es un sistema operativo fabricado por Google, el cual es adoptado por los fabricantes más importantes de dispositivos móviles (smartphones y tablets), que permite realizar tareas que se asemejan a un computador, como navegar la web, leer emails, descargar aplicaciones, etc.

AODDEI: Es una metodología comprendida por diferentes fases diseñada para la fabricación de los objetos virtuales de aprendizaje.

COMPONENTE: Es una unidad binaria de composición de aplicaciones software, que posee un conjunto de interfaces y un conjunto de requisitos, y que ha de poder ser desarrollado, adquirido, incorporado al sistema y compuesto con otros componentes de forma independiente, en tiempo y espacio.

DSBC: El Desarrollo de Software Basado en Componentes es una aproximación del desarrollo de software que describe, construye y utiliza técnicas de software para la elaboración de sistemas abiertos y distribuidos mediante el ensamblaje de módulos de software reutilizables. Es utilizada para reducir los costos, tiempos y esfuerzos de desarrollo del software, a la vez que ayuda a mejorar la fiabilidad, flexibilidad y la reutilización de la aplicación final.

ESTRUCTURA DE DATOS: Es una forma de organizar un conjunto de datos elementales con el objetivo de facilitar su manipulación. Un dato elemental es la mínima información que se tiene en un sistema

LISTA ENLAZADA: Es una de las estructuras de datos fundamentales, y puede ser usada para implementar otras estructuras de datos. Consiste en una secuencia de nodos, en los que se guardan campos de datos arbitrarios y una o dos referencias, enlaces o punteros al nodo anterior o posterior.

MARCADOR: Elemento o conjunto de símbolos que ayuda a detectar la posición del usuario para saber cuál es la imagen, modelo o información a mostrar y la forma correcta en este caso en un entorno de realidad aumentada.

REALIDAD AUMENTADA: Es la realidad mixta en tiempo real, formada por el mundo real que tiene mayor predominancia y elementos del mundo virtual, a través de dispositivos hardware y de software.

PUNTERO: Es una variable que almacena como contenido una dirección de memoria, de otra variable a la que apunta, dicha dirección representa el lugar donde se almacena un dato.

SISTEMA OPERATIVO MÓVIL: Es el software encargado de ejercer el control e interactuar con el hardware de un dispositivo móvil y servir de interfaz de comunicación entre el hardware y otras aplicaciones software.

TIC: Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios, que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, vídeo e imágenes.

UNITY: Es un ecosistema de desarrollo de animaciones y juegos multiplataforma, tiene un potente motor de renderizado totalmente integrado con juego completo de herramientas intuitivas y flujos de trabajo rápidos para crear contenido 3D interactivo; publicación multiplataforma fácil, miles de activos de calidad.

VUFORIA: Es una herramienta de desarrollo de software que permite crear aplicaciones atractivas para dispositivos móviles. Dicha plataforma se basa en el reconocimiento de imágenes para realizar el proceso de Realidad Aumentada.

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene como objetivo ofrecer a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas o carreras afines que cursan la asignatura de Estructuras de Datos, una herramienta para facilitar el aprendizaje de listas enlazadas en C++.

Para el desarrollo de esta herramienta, se siguió una metodología mixta, ajustando el desarrollo estructural de los objetos virtuales de aprendizaje con el desarrollo del aplicativo software. También, se estableció un estudio relativo a los contenidos de la temática, con lo cual se generó una cartilla pedagógica que podrá ser utilizada como referente informativo y que además incluye los marcadores para visualizar los objetos en realidad aumentada de las operaciones que se pueden realizar en los distintos tipos de listas enlazadas.

La construcción de estos artefactos dio origen a la herramienta que podrá ser empleada en un entorno educativo de educación superior, donde se pueda abarcar el marco conceptual que comprende la temática de listas enlazadas. Además, se pudo evidenciar la versatilidad que ofrece la tecnología para implementar mecanismos que pueden ser aplicados a diferentes ámbitos de estudio, impactando significativamente en la experiencia de aprendizaje de los alumnos.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que la herramienta es de gran utilidad en el proceso enseñanza-aprendizaje de listas enlazadas en C++ debido a que cambia la forma tradicional de la enseñanza de esta temática, la cual es muy tediosa tanto para docentes como estudiantes, por una forma de enseñanza más dinámica y llevadera.

ABSTRACT

This research project seeks to offer to System Engineering students who are taking classes of Data Structures, an application that makes easier the learning about linked lists in C++.

For the development of this tool, a mixed methodology was used, consisting in mixing structural development of virtual learning objects with software development. Also, across the study of the thematic contents, an educational booklet was created, which can be used as an information reference and also including the markers to display the operations that can be made in the different kinds of linked lists.

The construction of these artifacts led to a teaching tool that can be used in an educational environment, in where it can embrace the conceptual framework that includes the topic of linked lists. In addition, it was possible to demonstrate the versatility of technology to implement mechanisms that can be applied to various study areas, significantly impacting the learning experience of students.

Finally, it was concluded that the tool is very useful in teaching-learning process of linked lists in C++. Because of the change of the traditional way of teaching this topic, which is very tedious both teachers and students, to a more dynamic and easier teaching way.

INTRODUCCIÓN

En todo proceso educativo se pueden emplear materiales tangibles como libros, ayudas audiovisuales, entre otros recursos que han de facilitar el aprendizaje significativo en los alumnos. Pero con los avances tecnológicos el sistema educativo empieza a hacer uso de elementos y medios intangibles para inducir tal aprendizaje, que en algunos casos resulta ser una forma más eficaz y eficiente de transmitir o adquirir los conocimientos que al hacer uso de materiales tangibles (Sarmiento, 2007). Es por esto que surge la necesidad de incorporar tecnologías emergentes en los procesos educativos.

El diseño e implementación de listas enlazadas en C++, tema perteneciente al plan de trabajo de la asignatura Estructuras de Datos –la cual es incluida en la mayoría de los planes de estudio de los programas de Ingeniería de Sistemas del país y del mundo–, es uno de los conceptos que más genera dificultades a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas debido a que requiere de una gran capacidad de abstracción para comprender estos conceptos y su relación con el manejo dinámico de la memoria. Los profesores tienen que realizar un gran esfuerzo para explicar e ilustrar de manera gráfica estos conceptos, pero si los estudiantes contaran con una herramienta de apoyo para ilustrar estos conceptos se facilitarían su labor y se aprovecharía mejor el tiempo para otras actividades.

Dado que es una aplicación para facilitar el aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++ la cual utiliza Realidad Aumentada, lo que la hace una herramienta didáctica clave para los estudiantes de Ingeniería de Sistemas, más específicamente los que cursan la asignatura de Estructuras de Datos. Con estas características, el proyecto se ajusta a la línea de investigación de Inteligencia Computacional, adscrita al grupo GIMATICA del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, quien además tiene un semillero de investigación basado en Realidad Aumentada.

El aplicativo en el que está basado este proyecto, se construyó basado en Realidad Aumentada para ilustrar la temática del diseño e implementación de listas enlazadas en

C++. La aplicación será desarrollada para dispositivos móviles con sistema operativo Android.

Los resultados más importantes que se obtuvieron a lo largo de la investigación, fueron el desarrollo de animaciones que muestran las operaciones que se pueden hacer en una lista enlazada, una cartilla que desglose toda esta temática, un sistema de Realidad Aumentada para dispositivos móviles utilizado en la cartilla generada, y por último, la publicación de un artículo científico que exprese los resultados del proyecto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La asignatura de Estructuras de Datos incluida en la mayoría de los planes de estudio de los programas de Ingeniería de Sistemas del país y del mundo es abordada desde el punto de vista de los tipos abstractos de datos (TAD), por lo que se presenta una descripción de los algoritmos desde un punto de vista abstracto. Esta descripción, realizada en pseudocódigo o utilizando una especificación algebraica, a menudo resulta más difícil de comprender para los alumnos, que preferirían utilizar algún lenguaje de programación. (Pérez, Hernández, Escuadra & Rubio, 2007)

La forma clásica de explicar estos algoritmos es mediante sencillos ejemplos gráficos que se proporcionan al estudiante en forma de material de apoyo a las asignaturas. Estos ejemplos no suelen presentar problemas en el momento de la explicación ni en su estudio posterior. Sin embargo, si se pide al estudiante que aplique el algoritmo estudiado a ejemplos más complejos comienza a tener problemas en su aplicación y no tiene la seguridad absoluta de aplicarlo bien y, por tanto, de haberlo entendido. La dificultad es aún mayor si el estudiante debe implementar nuevas funcionalidades, incluso siendo pequeñas variaciones de los algoritmos expuestos en clase. Esta dificultad viene dada por la incertidumbre que manifiesta el estudiante al no tener la seguridad de entender correctamente el algoritmo básico. (Polo Martín et. al, 2011)

Uno de los temas de Estructuras de Datos que genera dificultades a los estudiantes es el de listas enlazadas; cuya unidad de aprendizaje correspondiente, como una estructura de datos dinámica, comprende los temas: listas simplemente enlazadas, listas doblemente enlazadas, listas circulares simplemente enlazadas, listas circulares doblemente enlazadas, pilas y colas.

De todos los lenguajes de programación existentes, uno de los más utilizados para el diseño e implementación de listas enlazadas es C++, esto siempre ha presentado gran dificultad para los estudiantes que cursan la asignatura de Estructuras de Datos o afines, debido a la gran capacidad de abstracción que se debe tener para comprender estos conceptos y su relación con el manejo dinámico de la memoria. Los profesores tienen que realizar un gran esfuerzo para explicar e ilustrar de manera gráfica estos conceptos, pero si los estudiantes contaran con una herramienta de apoyo para ilustrar estos conceptos se facilitaría su labor y se aprovecharía mejor el tiempo para otras actividades.

Para brindar solución al problema mencionado en el anterior párrafo, se requiere una herramienta software que facilite el proceso de aprendizaje de los estudiantes al momento de diseñar e implementar listas enlazadas en C++; la cual combine la ejemplificación a través de código fuente e ilustraciones gráficas que muestren cómo opera cada segmento de código de la implementación de una lista enlazada.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++?

2. JUSTIFICACIÓN

El aprendizaje de materias relativas a la algoritmia y la programación de computadores presenta quizás uno de los niveles de dificultad más elevados en lo que se refiere a materias propias de las ingenierías. Los estudiantes han mostrado desde siempre dificultades para asimilar nociones matemáticas abstractas, en particular cuando éstas incluyen la dinámica de cómo los algoritmos manipulan los datos. Montgomery (1998) establece que estas dificultades se mantienen a lo largo de cada curso académico. En su experiencia analiza las dimensiones sobre estilos de aprendizaje propuestas por Felder y Soloman (1999) - procesamiento, percepción, representación y comprensión- en el contexto de las ingenierías y concluye que la enorme distancia que existe entre los estilos de aprendizaje observados en los alumnos y los estilos de enseñanza generalmente utilizados, contribuye a consolidar las dificultades de aprendizaje, como lo muestra la Tabla 1.

Dimensión	Aprendizaje	Enseñanza
Procesamiento	67% de los estudiantes aprende mejor de una forma activa	La mayoría de las clases se imparten de forma típicamente pasiva y reflexiva.
Percepción	57% de los estudiantes aprenden de forma metódica	Habitualmente se les enseña de forma intuitiva
Representación	69% de los estudiantes aprenden de forma visual	Las clases suelen ser orales
Comprensión	28% de los estudiantes aprende de forma global	Rara vez se hace hincapié en una visión global del sistema

Tabla 1. Resultados observados por Montgomery sobre los estilos de aprendizaje (Montgomery, 1998).

Aunque no hay una única definición y clasificación sobre estilos de aprendizaje que es habitual que las personas utilicen los estilos de forma complementaria (Cabrera, 2004). De este modo, uno de los grandes retos en la enseñanza en general y, de la enseñanza de la programación en las ingenierías en particular, es el de ser capaz de ajustarse a las necesidades particulares de los individuos. Una forma más individualizada de acercarse al alumno es a través de software multimedia sobre materias específicas (Gallego & Martínez, 2003).

Dentro del contexto dado al momento de impartir la asignatura de Estructuras de Datos, contenida en el plan de estudios del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, muchos estudiantes que cursan dicha asignatura presentan dificultades en el proceso de aprendizaje de las temáticas que abarca la misma debido a la gran capacidad de abstracción que se debe tener para comprender estos conceptos y su relación con el manejo dinámico de la memoria. Por esto, los profesores se ven obligados a realizar un gran esfuerzo para explicar e ilustrar de manera gráfica estos temas, pero si los estudiantes cuentan con una herramienta de apoyo para profundizar el aprendizaje se facilitará su labor y se aprovechará mejor el tiempo para otras labores.

Para brindar solución al problema mencionado en el anterior párrafo, se requiere una herramienta software que facilite el proceso de aprendizaje de los estudiantes al momento de diseñar e implementar listas enlazadas en C++; la cual combine la ejemplificación a través de código fuente e ilustraciones gráficas que muestren cómo opera cada segmento de código de la implementación de una lista enlazada.

Además se busca que la implementación de tecnología en la educación con entornos virtuales y los entornos de Realidad Aumentada se vuelva una herramienta tan común como cualquier texto o referencia bibliográfica; y que de cierta forma apoye el proceso de enseñanza mediante la interacción con la información, dado que se puede tener objetos físicos y manipulables que crean un enlace más cercano entre el aprendiz y la enseñanza; estos objetos virtuales pueden ser utilizados por los estudiantes, ratificando un interés más sólido en la cátedra en la que se aplica. (Rodríguez., 2011).

Una de las ventajas de utilizar la Realidad Aumentada en la educación es que el estudiante no pierde el contexto del mundo real, de esta manera es posible que él pueda interactuar a su vez con el docente (Rodríguez, 2011), (Lee, S. H., Choi, J., & Park, J. I., 2009).

Con la implementación de este proyecto, los estudiantes contarán con una herramienta que les permitirá mejorar en el aprendizaje del tema de listas enlazadas, ocasionando esto que se pueda lograr un mejor proceso de aprendizaje.

Este proyecto se encuentra ubicado en la línea de investigación Inteligencia Computacional, que hace parte del grupo de investigación GIMATICA de la Universidad de Cartagena, debido a que comprende la utilización de Realidad Aumentada, las herramientas informáticas y las técnicas utilizadas en el tratamiento, acceso, presentación y transmisión de la información, los cuales son elementos de vital importancia para este proyecto, pues el propósito de este proyecto es el uso de las nuevas tecnologías para facilitar el aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++.

Los bajos costos del proyecto se deben a su orientación académica e investigativa, apoyada por personal altamente calificado en el área de Ingeniería del Software y Realidad Aumentada que participan en calidad de asesores, aportados por la Universidad de Cartagena como entidad contribuyente; además del autor, quienes aportarán sus conocimientos en gestión de proyectos, diseño y desarrollo de sistemas, Estructuras de Datos y habilidades analíticas, con el único propósito de crecer intelectual y profesionalmente, a través de un proceso experimental e investigativo que afianzará su formación, considerando el auge que tienen en la actualidad los temas de estudio del proyecto; brindando a su vez una solución que contribuye a la formación académica de los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena.

Una de las principales ventajas de la herramienta propuesta es que puede ser utilizada tanto por estudiantes que cursan la asignatura de Estructuras de Datos o afines, independientemente de la institución de educación superior en la que éstos se encuentren. De esta forma, la Universidad de Cartagena como ente líder de la investigación podrá afianzarse dentro de las instituciones que promueven la mejora de los procesos de aprendizaje de sus estudiantes, además de fortalecer la línea de Ingeniería de Software del programa de Ingeniería de Sistemas y la línea de Inteligencia Computacional del grupo de investigación GIMATICA.

Desde el punto de vista tecnológico, el estudio proporcionará un software innovador a nivel local y regional, pues no se han realizado proyectos similares que mejoren los procesos de aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++. Aplicando conceptos

de Ingeniería del Software y Realidad Aumentada, durante el proceso de construcción de la aplicación, desde la especificación de requisitos, hasta diseño, e implementación se pretende producir un software de calidad que se ajuste a las necesidades del medio, teniendo como precedente que la herramienta debe ser la solución adecuada al problema determinado, es decir, cada una de las técnicas y metodologías proporcionadas por la Ingeniería del Software, definida como *“disciplina para la aplicación inteligente de principios probados, técnicas, lenguajes y herramientas para la creación y mantenimiento, dentro de un coste razonable, de software que satisfaga las necesidades de los usuarios”* (Davis, 1993), son los artefactos para garantizar la fiel materialización del esquema; razón por la que se ubica el proyecto dentro de esta área. La ejecución de proyectos innovadores, como éste, que generan representativos aportes a la realidad nacional, califica a la Universidad de Cartagena como ente comprometido no sólo con la educación superior del país, sino con la comunidad científica y tecnológica. Además de otorgarle participación activa en cada uno de los beneficios generados.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Diseñar e implementar un aplicativo móvil con el fin de apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de listas enlazadas en C++ mediante el uso de Realidad Aumentada en dispositivos móviles con Android.

3.2. ESPECÍFICOS

- Determinar los requisitos del aplicativo mediante técnicas de recolección y análisis de información.
- Diseñar los videos y/o animaciones de cada uno de las operaciones que se pueden hacer en una lista enlazada.
- Generar una cartilla que abarque los conceptos relacionados a listas enlazadas incluyendo los marcadores de Realidad Aumentada.
- Diseñar un software de Realidad Aumentada para dispositivos móviles que ayude a facilitar el aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++.
- Realizar pruebas con su respectiva documentación, para validar y verificar el correcto funcionamiento del aplicativo.
- Alojarse el aplicativo en un repositorio.

4. ALCANCE DEL PROYECTO

La herramienta que facilite el aprendizaje de listas enlazadas en C++, será implementada para el uso de los estudiantes y docentes de Ingeniería de Sistemas, más específicamente a los que están cursando la asignatura de Estructuras de Datos y a los docentes de la misma, ya que todos los procesos definidos en esta investigación están enfocados a este ambiente, y el desarrollo e implementación de dicha herramienta tendrá una duración aproximada de 6 meses.

El desarrollo de la cartilla didáctica en la temática de listas enlazadas en C++ y el software de Realidad Aumentada que interactuará con las ilustraciones (marcadores) que estarán en la cartilla comprende los siguientes procesos principales:

- Recolectar la información más relevante para la enseñanza y aprendizaje de la temática de listas enlazadas con asesoría del docente David Franco a través de entrevistas, textos y páginas web.
- Diseñar los videos y/o animaciones de cada una de las operaciones que se pueden hacer en una lista.
- Diseñar la cartilla didáctica con la información recolectada y las ilustraciones (marcadores) a partir de los conceptos relacionados con listas enlazadas como lo son: listas simplemente enlazadas, listas doblemente enlazadas, listas circulares simplemente enlazadas y listas circulares doblemente enlazadas.
- Investigar y seleccionar la librería de Realidad Aumentada que muestre mejor desempeño y se ajuste a las necesidades en la implementación en los dispositivos móviles.
- Desarrollar el sistema de Realidad Aumentada que procese las ilustraciones que se encuentra en la cartilla didáctica.

- Realizar pruebas conceptuales a los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena que cursan la asignatura de Estructuras de Datos, con el fin de comprobar la apropiación de los conceptos relacionados con listas enlazadas.
- Integrar el aplicativo en un repositorio comercial (Google Play) para que éste pueda ser obtenido y utilizado por las partes interesadas en el mismo (estudiantes que cursan la asignatura Estructuras de Datos y docentes que imparten dicha asignatura)

Al término de esta investigación se obtendrá una herramienta que facilitará los procesos de aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++ el cual utilizará Realidad Aumentada para que, tanto estudiantes de Ingeniería de Sistemas que cursan la asignatura de Estructuras de Datos como los docentes que imparten dicha asignatura, aprendan –en el caso de los estudiantes- e impartan –en el caso de los docentes esta temática (listas enlazadas)- de forma interactiva.

Además, se pretende que este proyecto de investigación pueda ser un punto de referencia para la creación de nuevas herramientas didácticas que faciliten los procesos de aprendizaje.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. ESTADO DEL ARTE

5.1.1. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada adquiere presencia en el mundo científico a principios de los años 1990 cuando la tecnología basada en computadores de procesamiento rápido, técnicas de renderizado de gráficos en tiempo real, y sistemas de seguimiento de precisión portables, permiten implementar la combinación de imágenes generadas por el computador sobre la visión del mundo real que tiene el usuario.

En muchas aplicaciones industriales y domésticas se disponen de una gran cantidad de información que están asociadas a objetos del mundo real, y la Realidad Aumentada se presenta como el medio que une y combina dicha información con los objetos del mundo real (Basogain, Olabe M., Espinosa, Rouèche, y Olabe J. C., 2007).

La Realidad Aumentada tomó auge gracias a la aparición de smartphones y tablets que son capaces de soportar el procesamiento de imágenes en 3D ya que aportan viabilidad económica y movilidad, introduciéndola a esta tecnología más en el mundo cotidiano; en 2008 la firma de investigación Gartner aseguró que para 2012 la Realidad Aumentada sería una de las diez tecnologías más importantes. La Realidad Aumentada ofrece infinidad de nuevas posibilidades de interacción, que hacen que esté presente en muchos y variados ámbitos, tales como la educación, la medicina, la televisión, la arquitectura, las aplicaciones industriales, la publicidad y el turismo.

En el campo de la educación, se han desarrollado muchas aplicaciones que utilizan Realidad Aumentada para facilitar el aprendizaje de ciertos temas de

estudio. A continuación, se hará mención de algunos ejemplos de estas aplicaciones en los ámbitos internacional, nacional y local.

Ámbito internacional: Los ingenieros Mark Billingham, de la Universidad de Washington; Hirokazu Kato, de la Universidad de Hiroshima; e Iván Poupyrev, del Laboratorio de Ciencias de Sony Computers desarrollaron una aplicación llamada MagicBook, la cual permite aumentar los gráficos de un libro físico, para su mejor apreciación y mayor atractivo por parte del estudiante. Dicho sistema consta de una pantalla de mano, una estación de procesamiento de gráficos y el libro físico donde se encuentran los marcadores de referencia para el sistema (Billingham, Kato & Poupyrev, 2001).

Instituciones del prestigio como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Harvard están desarrollando en sus programas y grupos de investigación aplicaciones de Realidad Aumentada en formato de juegos; los cuales buscan involucrar a los estudiantes de educación secundaria en situaciones que combinan experiencias del mundo real con información adicional que se les presenta en sus dispositivos móviles. También han desarrollado juegos para enseñar materias de matemáticas y ciencias, y todos ellos están orientados a trabajar de forma colaborativa entre los estudiantes (Basogain, et al., 2007).

En Europa existen diferentes proyectos que diseñan y desarrollan aplicaciones innovadoras que integran Realidad Aumentada para ser utilizadas en la educación. Entre dichos proyectos se pueden destacar CONNECT, CREATE y ARISE. Estas nuevas herramientas basadas en presentaciones 3D y con gran interacción facilitan la comprensión de las materias de todas las ciencias. Los estudiantes pueden interactuar con objetos virtuales en un entorno real aumentado y desarrollan el aprendizaje experimentando (Basogain et al., 2007).

Google Sky Map, lanzado el 22 de agosto de 2007 junto con la versión 4.2 de Google Earth, incorpora una herramienta para explorar el Cielo: ver estrellas, constelaciones, galaxias. Google Sky es fruto de un acuerdo entre Google, el Instituto de Ciencia Telescópica Espacial de Baltimore y el centro de operaciones del Hubble. Esta aplicación para Android es gratuita y permite identificar todas las constelaciones y estrellas utilizando la cámara del smartphone, simplemente se tiene que colocar el teléfono orientado hacia el cielo y se podrá visualizar la identificación de las estructuras celestes que el usuario visualiza y que la lente de la cámara detecta, tanto si se trata de satélites, estrellas o planetas.

Construct3D es una herramienta en tres dimensiones de construcción geométrica diseñada específicamente para la educación matemática y la geometría. Se basa en el sistema móvil de colaboración Realidad Aumentada “Studierstube Tracker” que es una biblioteca de la visualización por computador y la detección de los marcadores de referencia (Institute for Software Technology and Interactive Systems & Vienna University of Technology, 2002).

También se desarrolló un sistema para el estudio del entorno ecológico de las mariposas y su ciclo de vida basada en Realidad Aumentada en dispositivos móviles, ayudando al estudiante a que se pueda familiarizar de una manera más atractiva al entorno de la mariposa (Tarng & Ou, 2012).

En Taiwán se desarrolló un sistema con Realidad Aumentada que permite el aprendizaje del lenguaje corporal y además apoya los ejercicios físicos, ya que según estudios la parte físico-motriz es una gran diferencia en la mayor parte de la población (Hsiao & Raslivand, 2011).

De igual forma se resalta la implementación de un juego para niños con Realidad Aumentada, que permite la enseñanza de letras y palabras utilizando

una serie de marcadores como referencia, el juego en RA tiene además pruebas que miden el aprendizaje de los niños (Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial y Universidad Politécnica de Valencia, 2010).

Ámbito nacional: En el ámbito nacional, la Realidad Aumentada ha sido considerada en muchas áreas en las cuales es aplicada. Como lo son la arquitectura, la publicidad, los juegos, la medicina, entre otras.

En el ámbito de la arquitectura, se ha desarrollado un software llamado “DRAT”, que es usado para la recreación de estructuras arquitectónicas abstractas que buscan desafiar los métodos ortodoxos y en cambio compenetrar la arquitectura con la naturaleza. (Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

Ámbito local: En la ciudad de Cartagena de Indias se desarrollaron cinco aplicaciones en Realidad Aumentada para facilitar los procesos de aprendizaje: la primera es un sistema de apoyo al aprendizaje de la química molecular llamado MolecularAR (M-AR) (Carrasquilla, Pinilla & Tovar Garrido, 2011); la segunda es una aplicación interactiva basada en Realidad Aumentada para el aprendizaje de ajedrez básico llamada ARjedrez (Fajardo, Pereira & Tovar, 2013); y la tercera, al igual que la cuarta y la quinta, son conjuntos de Objetos Virtuales de Aprendizaje desarrollados para la Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena: el primero es utilizado para el estudio de la anatomía de órganos dentales (Bohórquez, Velásquez & Tovar, 2013), el segundo es utilizado para el estudio de la anatomía de las estructuras de soporte de los órganos dentarios (Betín, Pomares & Puello Marrugo, 2013) y el tercero es utilizado para el estudio de la anatomía del sistema de inervación y de vascularización de los órganos dentales (Heredia, Méndez & Tovar, 2014).

5.1.2. M-Learning

En los últimos 15 años se han desarrollado muchas aplicaciones que utilizan esta metodología de enseñanza en distintos campos para facilitar el aprendizaje de ciertos temas de estudio. A continuación, se hará mención de algunos ejemplos de estas aplicaciones en los ámbitos internacional y nacional.

Ámbito internacional: Los trabajos de Zurita y Nussbaum (2001, 2007) utilizan PDAs (Asistentes Digitales Personales) en el contexto escolar, de manera de promover un aprendizaje colaborativo. Para ello los autores diseñaron una interfaz que le presenta a los alumnos preguntas de selección múltiple que deben responder colaborativamente. Si no hay acuerdo en el grupo o la respuesta es incorrecta, el grupo en su conjunto debe discutir y negociar nuevas posibles respuestas. Este proceso es seguido de modo remoto por el profesor, que tiene en su propio dispositivo un registro del avance y de los problemas que cada uno de los grupos tiene en el proceso.

Existe un proyecto M-Learning que se ha realizado en conjunto entre investigadores de Italia, Suecia y el Reino Unido. El objetivo de este proyecto ha sido utilizar las tecnologías portátiles para proporcionar alfabetización y experiencias de aprendizaje para jóvenes entre 16 y 24 años de edad. Este proyecto investigó cómo las tecnologías móviles en manos de estos jóvenes, ahora y en un futuro próximo, les cambia sus actitudes para el aprendizaje, para así poder contribuir a mejorar sus capacidades y oportunidades de vida. (Attewell J., 2005)

MOBILearn es un proyecto europeo para la investigación y desarrollo de soluciones computacionales para dispositivos móviles que sean sensibles al contexto, tanto informal, relacionado con espacios para la solución de problemas, como formal (el trabajo y el aprendizaje). La idea base de este proyecto es generar una arquitectura móvil genérica basada en subsistemas

que interactúan a través de protocolos de red con tal de que el aprendizaje de contenidos y servicios sea pertinente y oportuno. (Lonsdale, Baber, Sharples & Arvanitis, 2004)

ConcertStudeo consiste en una plataforma que implementa la integración de dispositivos móviles PDAs, pizarra electrónica y la interacción cara a cara, con tal de generar espacios de aprendizaje. ConcertStudeo proporciona herramientas para la interacción tales como brainstorming (lluvia de ideas), concurso y votación aprovechando la conectividad inalámbrica de los dispositivos. Además, el sistema permite utilizar diapositivas hechas en formato PowerPoint. Toda la información es compartida entre los dispositivos que los usuarios pueden utilizar sin mayores dificultades. De la experiencia desarrollada, los autores concluyen que para los participantes fue motivador trabajar con los PDAs y la pizarra electrónica, así como también el hecho de poder utilizar presentaciones desarrolladas con PowerPoint y que los resultados de la interacción se puedan preservar como parte del proceso de aprendizaje, resultados que pueden ser utilizados a futuro quedando como parte del material disponible (Dawabi, Wessner & Neuhold, 2004).

Ámbito nacional: El Doctor Gustavo Quintero, director de la Unidad de Educación de la Fundación Universitaria Sanitas (FUS), le propuso a la Organización Sanitas Internacional la posibilidad de usar las nuevas tecnologías de la información y comunicación en el área de salud. Fue así como nació e-Sanitas, el centro de educación virtual de la FUS enfocada al uso creativo de las NTIC en educación inicialmente en el área de la salud, ofrece educación virtual en los tres niveles: e-learning, b-learning y m-learning (Portal Educativo de Medellín, 2014).

5.1.3. Herramientas que facilitan el aprendizaje de Estructuras de Datos

En los últimos 15 años se han desarrollado varias aplicaciones que facilitan el aprendizaje de Estructuras de Datos, el cual es una temática muy compleja dentro de los temas que son objeto de estudio dentro de la Ingeniería de Sistemas y carreras afines. A continuación, se hará mención de las aplicaciones que se han desarrollado para facilitar el aprendizaje de estructuras de datos en los ámbitos internacional y nacional.

Ámbito internacional: Ingenieros de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (España) desarrollaron una herramienta para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las estructuras de datos, basada en animaciones realizadas en Macromedia Flash y en un sitio web realizado en Microsoft FrontPage; en el cual se encuentran embebidas las animaciones anteriormente mencionadas; teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales recogidas en el informe Computing Currícula 2001, de ACM/IEEE (Pérez, Hernández, Escuadra y Rubio, 2006).

Ingenieros de la Universidad de Salamanca (España) desarrollaron una herramienta con el fin de mejorar la enseñanza en este tipo de materias a través de la comprensión de conceptos y algoritmos de una forma más dinámica, pues permite el seguimiento en la ejecución de un algoritmo, la generación de ejemplos y su solución. La herramienta permite interactuar con la mayoría de las estructuras de datos que se estudian en las asignaturas (pilas, colas, árboles, montículos binarios y grafos), aunque estará principalmente indicada en la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos II –la cual está dentro del plan de estudios del programa de Ingeniería Informática de la misma universidad- en la que se presentan las estructuras más complejas como árboles, montículos binarios y grafos. (Polo Martín et. al., 2011)

Ingenieros de la Universidad de La Laguna, ubicada en Tenerife (España), desarrollaron una herramienta llamada EDApplets, una aplicación web orientada a la enseñanza/aprendizaje de la programación y de la algorítmica en las ingenierías. Basada en la tecnología de Applets Java, está orientada a la animación y visualización mediante trazas de algoritmos y estructuras de datos. La herramienta permite cubrir diversos aspectos en una enseñanza que puede ser dirigida a distintos tipos de estilos aprendizaje: activo/reflexivo, metódico/intuitivo, visual/oral, etc. (Almeida, Blanco & Moreno, 2003).

Ingenieros de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, ubicada en Comodoro Rivadavia (Argentina), desarrollaron una herramienta computacional de enseñanza-aprendizaje que permita navegar entre distintos mapas conceptuales. Estos representan las Estructuras de Datos que se estudian en las asignaturas de los dos primeros años de la Licenciatura en Informática. Esta posibilidad de recorrer y conectar las estructuras posibilita la construcción del conocimiento global de las mismas, lo que permite una visión de conjunto entre ellas y al mismo tiempo resalta las particularidades de cada estructura (Uviña, Bertolami, Centeno & Oriana, 2002).

Ámbito nacional: En la Universidad Cooperativa de Colombia, ubicada en Bucaramanga, se buscó tener una alternativa para la enseñanza de programación en la asignatura Estructura de Datos, por lo cual se desarrolló un Objeto Virtual de Aprendizaje web basado en la plataforma Moodle para el estudio de dicha asignatura, ofreciendo contenidos teóricos, multimedia y pruebas esenciales en un OVA (Guerrero & Medina, 2010).

5.2. ANTECEDENTES

Existen varias aplicaciones que facilitan el aprendizaje de otros temas referentes a la asignatura de Estructuras de Datos, como el realizado por ingenieros de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (España); el cual consiste en una

herramienta para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las estructuras de datos implementada utilizando Macromedia Flash y herramientas web, pero ninguna para el tema de listas enlazadas y mucho menos con Realidad Aumentada.

Dentro del contexto de la Universidad de Cartagena, se han realizado aplicaciones para el aprendizaje utilizando Realidad Aumentada; pero para otras áreas. Para la Facultad de Odontología, se han desarrollado cuatro aplicaciones, las cuales fueron realizadas para el estudio de la anatomía de órganos dentales (Bohórquez, Velásquez & Marrugo, 2013), las estructuras de soporte de los órganos dentarios (Pomares, Betín & Marrugo, 2013), la anatomía del sistema de inervación y vascularización de los órganos dentales (Heredia, Méndez & Tovar, 2014), y la endodoncia (Barrios, Ferrer & Tovar, 2014). También se desarrollaron aplicaciones para la enseñanza de la simetría molecular (Pinilla, Carrasquilla & Tovar, 2011), el aprendizaje de ajedrez básico (Fajardo, Pereira & Tovar, 2013), el aprendizaje de accidentes geográficos (Lung, Zabaleta & Tovar, 2015) y el aprendizaje en la asignatura Procesos de Alimentos II del programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Cartagena (Coronel, Tovar & Montero, 2016).

5.3. MARCO TEÓRICO

5.3.1. Estructuras de Datos

Una estructura de datos es una forma de organizar un conjunto de datos elementales con el objetivo de facilitar su manipulación. Un dato elemental es la mínima información que se tiene en un sistema. (Deitel H.M & Deitel P. J., 2013). Una estructura de datos define la organización e interrelación de estos y un conjunto de operaciones que se pueden realizar sobre ellos. Las operaciones básicas son:

- Alta, adicionar un nuevo valor a la estructura.
- Baja, borrar un valor de la estructura.
- Búsqueda, encontrar un determinado valor en la estructura para realizar una operación con este valor, en forma secuencial o binario (siempre y cuando los datos estén ordenados).

Otras operaciones que se pueden realizar son:

- Ordenamiento, de los elementos pertenecientes a la estructura.
- Apareo, dadas dos estructuras originar una nueva ordenada y que contenga a las apareadas.

Un tema introductorio al estudio de los distintos tipos de estructuras de datos son los punteros o apuntadores, lo cuales son variables, que almacenan como contenido una dirección de memoria, de otra variable a la que apunta, dicha dirección representa el lugar donde se almacena un dato. Los punteros tienen un tipo de dato específico y solo pueden apuntar a espacios de memoria con datos del mismo tipo (Mosquera, 2007).

A partir de este punto se define el tema que conlleva a la realización del proyecto: las listas enlazadas. Las cuales son una de las estructuras de datos fundamentales, y puede ser usada para implementar otras estructuras de datos. Consiste en una secuencia de nodos, en los que se guardan campos de datos arbitrarios y una o dos referencias, enlaces o punteros al nodo anterior o posterior. (Deitel H.M y Deitel P. J., 2013).

Los tipos de listas enlazadas que existen son:

- **Listas simplemente enlazadas:** Una lista simplemente enlazada es una colección lineal de estructuras autorreferenciadas llamadas nodos, conectadas por enlaces de puntero –de ahí el término “enlazada”-. Se obtiene acceso a una lista simplemente enlazada a través de un puntero al primer nodo de la lista. (Deitel H.M & Deitel P. J., 2013).

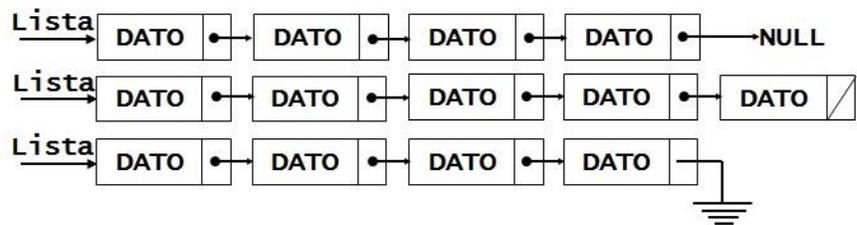


Ilustración 1. Distintos tipos de listas enlazadas (Mosquera, 2007)

- **Listas doblemente enlazadas:** Una lista doblemente enlazada es una lista lineal en la que cada nodo tiene dos enlaces, uno al nodo siguiente, y otro al anterior. Las listas doblemente enlazadas no necesitan un nodo especial para acceder a ellas, pueden recorrerse en ambos sentidos a partir de cualquier nodo, esto es porque a partir de cualquier nodo, siempre es posible alcanzar cualquier nodo de la lista, hasta que se llega a uno de los extremos (Mosquera, 2007).

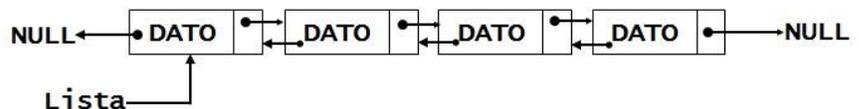


Ilustración 2. Esquema de una lista doblemente enlazada (Mosquera, 2007)

- **Listas circulares:** En una lista enlazada circular, el primer y el último nodo están unidos juntos. Esto se puede hacer tanto para listas enlazadas simples como para las doblemente enlazadas. Para recorrer una lista enlazada circular podemos empezar por cualquier

nodo y seguir la lista en cualquier dirección hasta que se regrese hasta el nodo original. Desde otro punto de vista, las listas enlazadas circulares pueden ser vistas como listas sin comienzo ni fin. Este tipo de listas es el más usado para dirigir buffers para “ingerir” datos, y para visitar todos los nodos de una lista a partir de uno dado (Mosquera, 2007).

- **Listas circulares simplemente enlazadas:** En las listas circulares simplemente enlazadas, cada nodo tiene un enlace, similar al de las listas enlazadas simples, excepto que el siguiente nodo del último apunta al primero. Como en una lista enlazada simple, los nuevos nodos pueden ser solo eficientemente insertados después de uno que ya tengamos referenciado. Por esta razón, es usual quedarse con una referencia solamente al último elemento en una lista enlazada circular simple, esto nos permite rápidas inserciones al principio, y también permite accesos al primer nodo desde el puntero del último nodo (Mosquera, 2007).

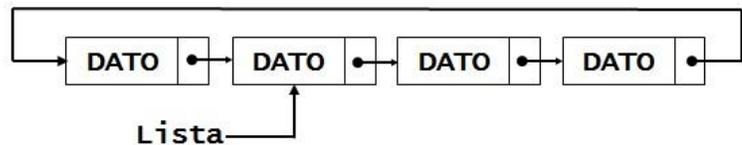


Ilustración 3. Esquema de una lista circular simplemente enlazada (Mosquera, 2007)

- **Listas circulares doblemente enlazadas:** En las listas circulares doblemente enlazadas, cada nodo tiene dos enlaces, similares a los de la lista doblemente enlazada, excepto que el enlace anterior del primer nodo apunta al último y el enlace siguiente del último nodo, apunta al primero. Como en una lista doblemente enlazada, las inserciones y eliminaciones

pueden ser hechas desde cualquier punto con acceso a algún nodo cercano. Aunque estructuralmente una lista circular doblemente enlazada no tiene ni principio ni fin, un puntero de acceso externo puede establecer el nodo apuntado que está en la cabeza o al nodo cola, y así mantener el orden tan bien como en una lista doblemente enlazada (Mosquera, 2007).

- **Pilas:** Una pila es una versión restringida de una lista enlazada. A una pila se le pueden añadir y retirar nuevos nodos únicamente de su parte superior. Por esta razón, se conoce una pila como una estructura de datos como últimas en entrar, primeras en salir (LIFO, Last-in, first-out) (Deitel H.M & Deitel P. J., 2013).

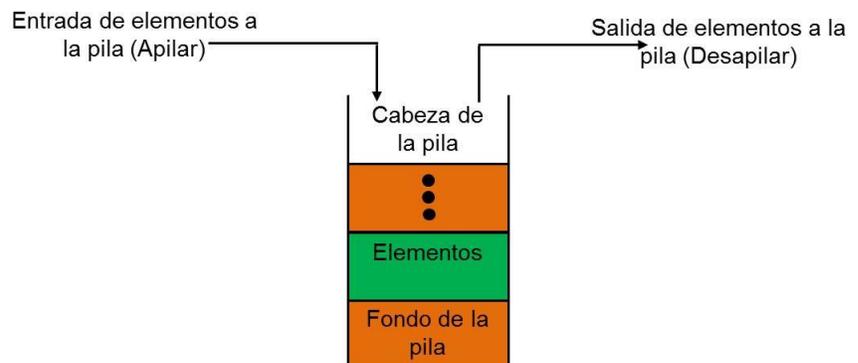


Ilustración 4. Esquema de una pila (Mosquera, 2007)

- **Colas:** Las colas son otro tipo de estructura lineal de datos, similar a las pilas, diferenciándose de ellas en el modo de insertar/eliminar elementos. Una cola es una estructura lineal de datos. En la que las eliminaciones se realizan al principio de la lista, frente, y las inserciones se realizan en el otro extremo, final. En las colas el elemento que entró de primero sale también de primero; por ello se conocen como listas FIFO (first-in, first-out, primero en entrar, primero en salir). Así pues, la diferencia con las pilas reside en el modo de entrada/salida de datos; en las colas las inserciones se

realizan al final de la lista, no al principio. Por ello, las colas se usan para almacenar datos que necesitan ser procesados según el orden de llegada (Mosquera, 2007).

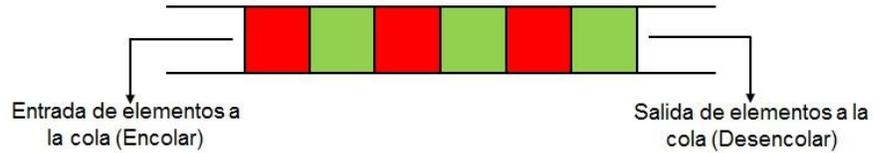


Ilustración 5. Esquema de una cola (Mosquera, 2007)

5.3.2. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología emergente que se está dando a conocer, y a su vez, está generando un gran impacto en el campo de las tecnologías. Esto se ve reflejado claramente en el gran número de proyectos funcionales en el mercado o que se encuentran en desarrollo.

Pese a ser considerado una tecnología relativamente nueva, sus inicios van ligados a los inicios de la realidad virtual (RV), diferenciándose en su ideología, puesto que la RA busca combinar objetos virtuales con el mundo real para enriquecer a este último, mientras la RV puede mezclar objetos reales ya sean imágenes o videos con un entorno o mundo netamente virtual.

A partir de lo anterior, se puede definir la Realidad Aumentada como mezcla de la realidad con objetos tridimensionales generados por computador donde lo dominante es lo real.

En la actualidad, una de las definiciones de Realidad Aumentada aceptadas es la dada por Ronald Azuma en 1997 (Azuma et al., 2001), donde dice que un sistema de Realidad Aumentada es aquel que pueda:

- Combinar mundo real y el mundo virtual.
- Ser iterativo en tiempo real.
- Registrarse en 3 dimensiones.

Un tema que permite una mejor comprensión sobre la Realidad Aumentada es el “continuo de Milgram”. Paul Milgram y Fumio Kishino definen el continuo de la virtualidad de Milgram (1994), donde en ella se expresa un continuo que va del entorno real hasta un entorno virtual y en el medio se encuentra la Realidad Aumentada que está más cerca del entorno real y la virtualidad aumentada que está más cerca del entorno virtual. Además, permite establecer una clasificación de acuerdo a la cantidad de entorno generado por un computador, yendo desde el entorno completamente real al entorno completamente virtual. (Portalés, 2008).



Ilustración 6. Continuo de la virtualidad de Milgram (Milgram y Kishino, 1994)

Para hablar de Realidad Aumentada o de cualquier tecnología de las descritas (ver ilustración 6) en el continuo de Milgram, es necesario hablar -aunque sea de forma superficial- de cada una de ellas, lo que permitirá establecer diferencias entre ellas.

- **Realidad virtual:** Es un entorno artificial creado por computador y presentado al usuario como real a tal punto que el usuario lo cree y acepta como tal. Como aspectos fundamentales para hablar de realidad virtual se tendrían que el escenario es 100% creado por computador y en tercera dimensión y, por ende, la calidad de las imágenes debe tener

una buena resolución para poder asegurar un grado de realismo (Sherman & Craig, 2006).

El sistema o mundo virtual debe ser interactivo, es decir, el usuario debe obtener las respuestas del sistema en tiempo real para que pueda haber esa sensación de interacción, que haga al usuario sentirse inmerso en el mundo virtual para que parezca realista, por eso el sistema de Realidad Virtual debe situar todo los movimiento del usuario y determinar a qué puede conllevar dicha acción, que se producirá en el mundo virtual. En cuanto a sentidos sensoriales, el usuario solo percibe dos de los cinco sentidos, la vista y el oído.

- **Virtualidad Aumentada:** Se define como un entorno principalmente virtual (o donde los objetos virtuales predominan sobre los objetos reales), el cual puede ser aumentado mediante la inclusión de videos o texturas del mundo real. En el primer caso, el video puede ser pregrabado o en tiempo real. En el segundo caso, las texturas de los objetos virtuales pueden corresponderse con objetos en la realidad, lo que generalmente se conoce como modelos foto-realistas (Pérez, 2009).
- **Realidad mezclada:** Existen aplicaciones sobre las cuales no se identifica que entorno predomina sobre cuál (real o virtual), por lo que se clasificaría como realidad mezclada. En otras palabras, la realidad mezclada no es más que la mezcla de Realidad Aumentada con la virtualidad aumentada.

Para crear un sistema de Realidad Aumentada, es indispensable el uso de 4 elementos esenciales que, en algunos casos, varios de ellos se encuentren contenidos dentro de un mismo dispositivo. Estos elementos son:

- **Monitor o Pantalla:** es el elemento donde se visualiza la mezcla del mundo real con los objetos de tercera dimensión generados por un computador. Se conoce a dicho elemento como monitor, si es una parte de un equipo de cómputo o pantalla si se hace referencia a dispositivos móviles, ya sea teléfono celular, smartphone o tablet.
- **Cámaras web o cámaras portables:** es el dispositivo encargado de tomar la información del mundo real y transferirlo al software de Realidad Aumentada. Cabe resaltar que los procesos de captura y transferencia se hacen en tiempo real.
- **Software:** es el programa que hace posible obtener dicha mezcla de realidad y objetos virtuales. Para ello, toma la información transferida por la cámara web o cámara portable para transformarla en Realidad Aumentada, es decir, agregar el contenido virtual dentro de la realidad que se está percibiendo por medio de la cámara.
- **Marcadores:** Básicamente son patrones que interpreta el software, y de acuerdo a éste, cargar un contenido virtual en específico teniendo como punto de referencia la ubicación y/o posición del marcador, hecho que permite al usuario poder hacerle cambios de movimiento al marcador para poder observar el contenido virtual en cualquiera de sus ángulos. En el siguiente apartado veremos un poco más acerca de los marcadores y sus usos.

Es fácil comprender las características de la Realidad Aumentada al conocer el proceso que realiza. Dicho proceso comienza cuando la cámara captura la información del mundo real, el sistema de posicionamiento determina la posición y orientación del usuario en cada momento. Con esta información se genera el escenario virtual que se va a mezclar con la señal de video capturada por la cámara para generar la escena aumentada. Esta escena compuesta por la

información real y la virtual se presenta al usuario a través del dispositivo de visualización (Basogain et al., 2007).

De acuerdo a lo anterior, se puede definir como Realidad Aumentada al sistema que reúna las siguientes características:

- Mezcla de entornos reales con objetos virtuales.
- Interacción en tiempo real.
- Posicionamiento 3D.

De manera que películas modernas que incluyen objetos virtuales fusionados en entornos reales no podrían clasificarse como Realidad Aumentada por el hecho de que no cuentan con una interacción en tiempo real con los usuarios.

Por otro lado, se debe dejar claro que implícitamente el empleo de Realidad Aumentada implica el uso de algún tipo de dispositivo para la visualización de los resultados como HMDs¹, monitores, dispositivos móviles o cualquier otro similar, así como el uso de computadores para interpretar y procesar la información para luego generar los resultados (Zlatanova, 2002).

Uno de los componentes de la Realidad Aumentada es el marcador, el cual es un sistema gráfico creado para almacenar información que posteriormente será interpretado por un dispositivo electrónico (sea computador, celular, smartphone o tablet).

Los marcadores de Realidad Aumentada constan de patrones. Un patrón es un conjunto de rasgos esenciales en un diseño gráfico, en el cual estos rasgos son procesado por un software de Realidad Aumentada para adicionar en el mundo real un contenido virtual vinculado con ese tipo de rasgos.

¹ HMD (Head-Mounted Displays). Son visualizadores montados en la cabeza. Actualmente son los dispositivos más usados para aplicaciones de realidad aumentada.

Comúnmente para el desarrollo de aplicativos de Realidad Aumentada se diseña un patrón que sea más fácil y rápido de capturar por la cámara del dispositivo. Los modelos más usados son la de un cuadrado negro y en el centro una figura o símbolo de color blanco con un tamaño de 100 píxeles de alto y de ancho. Los patrones de Realidad Aumentada a diferencia de los códigos bidimensionales, no contienen la información en el mismo símbolo, por el contrario, es el software el que contiene esta información o contenido virtual ligados a ciertos patrones que captura el dispositivo para luego hacer la unión del contenido real con el virtual.

El avance tecnológico que han tenido estos artefactos, posibilitó la reducción considerable del tamaño y el aumento de las características funcionales de este tipo de mecanismos, como lo es la capacidad de procesamiento. Lo anterior, ha hecho posible que dispositivos de gran tamaño que antes eran difícil de llevar a la mano, actualmente sean de los preferidos, debido la practicidad que ofrecen estos productos. Algunos de los dispositivos móviles existentes en la actualidad que permiten la implementación de la Realidad Aumentada son los smartphones y las tablets.

Para desarrollar aplicaciones móviles de Realidad Aumentada, hay variedad de herramientas que permiten la creación de dichas aplicaciones teniendo en cuenta la plataforma en la que serán utilizadas. A continuación se describirán las características más relevantes de las herramientas más populares en la actualidad para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada para dispositivos móviles:

- **Layar:** Es un navegador de Realidad Aumentada desarrollado para plataformas móviles como Android o iPhone bajo una licencia privativa, razón por la cual no se tiene acceso al código fuente de la aplicación. Layar está basado en un sistema de capas que se superponen sobre el navegador permitiendo al usuario puede decidir si

mostrar o no una capa en particular. Cada una de estas capas es desarrollada independientemente por compañías o programadores independientes, y representan mundos de Realidad Aumentada paralelos y disjuntos (Bellón, Creixell, & Serrano, 2010).

- **NyARToolKit:** Es una versión de ARToolkit desarrollada exclusivamente en Java. ARToolkit es una biblioteca que permite la creación de aplicaciones de Realidad Aumentada, en las que se sobrepone imágenes virtuales al mundo real. Para ello, utiliza las capacidades de seguimiento de video, con el fin de calcular, en tiempo real, la posición de la cámara y la orientación relativa a la posición de los marcadores físicos. Una vez que la posición de la cámara real se sabe, la cámara virtual se puede colocar en el mismo punto y modelos 3D son sobrepuestos exactamente sobre el marcador real (NyARToolKit, 2010).
- **Look!:** Es un framework de Realidad Aumentada para Android bajo licencia GPL v3, creado para simplificar el desarrollo de aplicaciones de este tipo. Entre sus novedades nos podemos encontrar un sistema de localización de interiores y la interacción de los objetos (Bellón, Creixell, & Serrano, 2010).
- **Wikitude:** Es un navegador de Realidad Aumentada para dispositivos Android, iPhone y BlackBerry, que busca brindar a sus usuarios crear aplicaciones de Realidad Aumentada de una forma fácil, sin necesidad que este tenga conocimientos previos de programación (Wikitude, 2011).
- **Vuforia SDK:** El SDK o Kit de Desarrollo de Software de Realidad de Vuforia, permite a los desarrolladores crear atractivas aplicaciones para móviles con sistema operativo Android. Dicha plataforma se basa en el

reconocimiento de imágenes para realizar el proceso de Realidad Aumentada y no tanto en la información proporcionada por el GPS como se ha visto en otros kits de desarrollo de este tipo.

Además, ofrece a los desarrolladores la oportunidad de generar experiencias interactivas en 3D de alta calidad con imágenes del mundo real, como las que se utilizan en materiales impresos (libros, revistas, folletos, boletos, letreros, etc.) y envases de productos. Esto debido al desarrollo nativo en Android admitiendo las herramientas de Android (SDK, NDK) y la posibilidad de implementar una extensión de la herramienta de desarrollo de juegos Unity que brinda más velocidad al desarrollar las aplicaciones y obtener un mejor rendimiento en el resultado que otras plataformas similares (Vuforia, 2014).

- **AndAR:** Es un proyecto que hace posible el uso de Realidad Aumentada en móviles bajo plataformas Android, haciendo uso para ello de la librería Artoolkit. Por otro lado, AndAR es un proyecto open source pero también cuenta con una licencia para aplicaciones comerciales (AndAR, 2011).
- **ARviewer:** Es un navegador y editor libre de Realidad Aumentada fácilmente integrable en aplicaciones de Android. ARviewer es el resultado de la modularización del proyecto LibreGeoSocial que fue el primer visor de Realidad Aumentada en Android liberado bajo una licencia FLOSS². Además, a diferencia de otros sistemas privativos (como Layar o Wikitude), ARviewer permite etiquetar y visualizar en diferentes alturas y permite integrarlo en tus aplicaciones de una manera sencilla utilizando el ARviewer SDK (ARviewer SDK, 2011).

² FLOSS (Free/libre and Open Source Software): Es un tipo de licencia de software que le da al usuario final la posibilidad de estudiar, modificar y mejorar su diseño mediante la disponibilidad de su código fuente.

El navegador de ARviewer permite pintar etiquetas asociadas a objetos de la realidad utilizando la posición GPS y su altitud. El sistema funciona tanto en exteriores como en interiores (en este último caso la localización viene dada por los QR-codes).

5.3.3. Android OS

Android es un sistema operativo basado en el kernel de Linux diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil, como smartphones o tablets, inicialmente desarrollado por Android, Inc. Google respaldó económicamente y más tarde compró esta empresa en 2005. Android fue presentado en 2007 junto la fundación del Open Handset Alliance: un consorcio de compañías de hardware, software y telecomunicaciones para avanzar en los estándares abiertos de los dispositivos móviles

Esta plataforma está basada en el Kernel Linux 2.6. Además, utiliza una máquina virtual (Dalvik) personalizada que ha sido diseñada para optimizar la memoria y los recursos de hardware en un entorno móvil. El kernel también actúa como una capa de abstracción entre el hardware y el resto de la pila de software.

Dentro de los aspectos a destacar de Android tenemos los siguientes:

- Permite a los desarrolladores crear aplicaciones móviles usando el lenguaje de programación java o haciendo uso del SDK de Android para sacar el máximo provecho que el dispositivo puede ofrecer.
- Está construido para ser realmente abierto. Por tal, una aplicación puede llamar a cualquier función básica de un teléfono, como hacer llamadas, enviar mensajes de texto, o usar la cámara.

- Deja abierta la posibilidad de ser ampliado para incorporar nuevas tecnologías de vanguardia a medida que vayan surgiendo.

No diferencia entre el núcleo del teléfono y las aplicaciones de terceros, lo que quiere decir que todas pueden ser construidas para tener igual acceso al teléfono y tienen la capacidad de ofrecer a los usuarios un amplio espectro de aplicaciones y servicios.

5.3.4. M-learning

El término m-learning (Mobile Learning – Aprendizaje Móvil), tiene diferentes significados para diferentes comunidades, cubriendo un rango de escenarios de uso los cuales incluyen e-learning, tecnología educacional y educación a distancia, que se enfoca en el aprendizaje a través de dispositivos móviles. El aprendizaje móvil es definido como “el aprendizaje a través de múltiples contextos, por medio de interacciones sociales y de contenido, usando dispositivos electrónicos personales” (Crompton, 2013). En otras palabras, con el uso de dispositivos móviles, los estudiantes pueden aprender desde cualquier lugar en cualquier hora.

Las tecnologías de m-learning incluyen, reproductores MP3, computadores portátiles, teléfonos móviles y tablets. El m-learning se enfoca en la movilidad del estudiante, interactuando con tecnologías portables, y el aprendizaje que refleja en cómo la sociedad y sus instituciones pueden acomodarse y apoyar una población móvil que va en aumento.

El m-learning es conveniente por el hecho de que es accesible desde cualquier punto. El m-learning, junto con otras formas de e-learning, es también colaborativo. Compartir datos es una acción instantánea entre todos aquellos que usan el mismo contenido, lo que implica la recepción instantánea de sugerencias y retroalimentación. Este proceso altamente activo ha demostrado que las notas en los exámenes incrementan entre el 50% y el 70% y reduce la

tasa de deserción escolar en la enseñanza técnica en un 22%. El m-learning también brinda una gran portabilidad al reemplazar los libros y cuadernos por pequeños dispositivos, llenos de contenido educativo adaptado. En resumen, es fácil utilizar el aprendizaje móvil para una experiencia más efectiva y entretenida.

5.3.5. Metodología combinada entre AODDEI e ISBC

Es una metodología para desarrollar Objetos Virtuales de Aprendizaje³ que utilizando tecnologías emergentes como lo es la Realidad Aumentada. Esta metodología está basada en las metodologías AODDEI e ISBC (Ingeniería de Software Basada en Componentes), utilizando 5 fases de la primera y todas las fases de la segunda (Tovar, Bohórquez & Puello, 2014).

Esta metodología consta de las siguientes fases:

- **Fase 1 (Análisis del negocio):** En esta fase el experto en la temática junto con el equipo multidisciplinario, diseñador e ingeniero de sistemas se reúnen y definen los siguientes aspectos concernientes a los OVA:
 - **Análisis:** En este aspecto se definen
 - La problemática a solucionar con el desarrollo de los OVA.
 - El público al que está dirigido el proyecto, en este caso es el mismo al que afecte el problema a solucionar.

³ Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA): Son herramientas educativas que utilizan las TIC con el fin de lograr contenidos amigables y sustanciosos para las personas que hacen uso de ellos. Estos carecen de un concepto unificado debido a que, según lo afirma Stephen Downes, no existe un consenso en la definición de objetos de aprendizaje. existe un consenso en la definición de objetos de aprendizaje. La idea básica permite una amplia variedad de interpretaciones

- La solución propuesta a la problemática y la temática que se abordará.
 - Las características básicas de los OVA a desarrollar.
- **Obtención:** Los requerimientos funcionales y no funcionales de los OVA basados en la manera como el experto aborda la temática. Se obtiene el inventario de los modelos 3D a desarrollar, los cuales son parte de los elementos multimedia inmersos en los OVA.
- **Digitalizar el material:** Se generan los materiales multimedia y los modelos 3D, que harán parte de los OVA. Los materiales multimedia y modelos 3D son validados por el experto en la temática, en caso tal de necesitar correcciones, éstas son realizadas de inmediato, preferiblemente antes de pasar a la siguiente fase.
- **Fase 2 (Diseño y selección de herramientas):** En esta fase se debe diseñar la relación de los objetivos, los contenidos informativos, las actividades y la evaluación, como parte del diseño en la estructura de los OVA. también se deben identificar las herramientas a utilizar basándose en un análisis detallado.
 - **Diseño:** Se realiza la organización de los contenidos inmersos en los OVA. Tomando como punto de partida que los OVA buscan apoyar la apropiación del conocimiento en una temática específica. Estos contenidos van organizados de la siguiente manera:
 - **Contenidos informativos:** Indicar la manera como será presentada la información, la navegabilidad y su organización.

- **Actividades:** Indicar las actividades que se realizarán en los OVA con el fin de apoyar la apropiación de los conceptos presentados.
- **Evaluación:** Se realiza con el fin de medir el nivel de apropiación de los conceptos expuestos en los OVA.
- **Identificación de herramientas:** En este apartado se debe realizar una exhaustiva investigación sobre las herramientas y componentes de realidad aumentada que mejor se adapten a las características del proyecto.
- **Análisis de herramientas:** Se deben establecer prioridades dentro de las características de las herramientas, las cuales serán vitales para el desarrollo de los OVA, con el fin de llegar a la herramienta que mejor se adapte a las necesidades.
- **Fase 3 (Construcción y adaptación de los componentes de ingeniería):** En esta fase se deben realizar los marcadores de realidad aumentada correspondiente a cada OVA. Además, se lleva a cabo el desarrollo de la aplicación que corresponde a la formación de los OVA como tal, utilizando cada uno de los elementos generados en las fases anteriores como los modelos 3D, contenidos teóricos, contenidos evaluativos, audios y marcadores.
 - **Construcción de los marcadores:** En esta instancia se realizan los marcadores de realidad aumentada que serán útiles para cada OVA. Para lo cual se debe tener en cuenta características importantes que garanticen el diseño apropiado de los marcadores como la cantidad de vértices, colores, contrastes, entre otros.

- **Construcción de la aplicación:** Esta es una de las partes más importantes en el desarrollo de los OVA ya que aquí se hace uso de los componentes seleccionados en fases previas para integrar todos los elementos constitutivos de los OVA, tales como los modelos 3D, archivos multimedia, contenidos informativos, actividades y evaluación.
- **Fase 4 (Evaluación e implantación):** En esta fase se realiza el proceso de evaluación a los OVA. Primero bajo la supervisión del personal calificado, tomando como base los requerimientos funcionales y no funcionales. Luego por el público al cual van dirigidos los OVA, en esta instancia se pueden aplicar encuestas, actas u otras actividades que sirvan como evidencia del proceso.
 - **Evaluación por personal calificado:** En esta instancia se colocan los OVA a disposición del personal experto en la temática para comprobar que cumplen con las características deseadas. Se tiene en cuenta el cumplimiento de los requerimientos funcionales y no funcionales. En caso de presentar correcciones deben ser atendidas antes de pasar a la siguiente instancia. Se recomienda obtener evidencia de este proceso.
 - **Evaluación por parte de los estudiantes:** En este paso es importante que los OVA ya estén avalados por el personal calificado, luego son evaluados por los estudiantes haciendo uso de ellos, verificando su utilidad en el proceso de aprendizaje e indicando posibles mejoras de acuerdo a la necesidad. Se recomienda tener soportes como evidencia en este proceso.
 - **Implantación:** En esta fase se realiza el proceso de publicación para que los usuarios tengan acceso a los contenidos de los OVA,

por lo cual se deben integrar los OVA a un sistema de gestión de aprendizaje que facilite su acceso, como Moodle u otra plataforma con este fin. Además, los OVA pueden ser distribuidos para los diferentes sistemas operativos móviles mediante una app en sitios como App Store o Play Store.

AODDEI		ISBC	Metodología mixta
Fases	Pasos		
1. Análisis y obtención	1. Análisis 2. Obtención del material	Comunicación con el cliente	Análisis del negocio
2. Diseño	3. Armado de la estructura del OVA	Planificación Análisis de riesgos	Diseño e identificación de herramientas
4. Desarrollo	5. Armado	Construcción y adaptación de los componentes de ingeniería	Construcción y adaptación de los componentes de ingeniería
6. Evaluación 7. Implantación	8. Evaluación del OVA 9. Integrar el OVA a un sistema de gestión del aprendizaje	Evaluación del cliente	Evaluación e implantación

Tabla 2. Fases de AODDEI, fases de ISBC y metodología combinada (Tovar, Bohórquez y Puello, 2014)

6. METODOLOGÍA

En el presente apartado se describe cómo se realizó la investigación que permitió el desarrollo de la herramienta que facilita el aprendizaje de listas enlazadas en C++, con el fin de resolver el problema planteado y lograr la consecución de los objetivos propuestos.

El proyecto está enmarcado en un tipo de investigación aplicada debido a que busca la implementación de estudios investigativos realizados con anterioridad; los cuales poseen una serie de características específicas inmersas en el contexto del problema. En este caso, se busca una aplicación que utiliza realidad aumentada para facilitar el aprendizaje de listas enlazadas en C++.

También es descriptiva, ya que tiene interés por describir algunas características fundamentales de una población, situación o área de interés. En este caso concreto la población estudiantil correspondiente a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas que cursan la asignatura de Estructuras de Datos y los docentes que imparten dicha asignatura.

Además, es experimental por que busca introducir nuevas variables (los videos explicativos) en el entorno (la problemática en el aprendizaje de listas enlazadas en C++), para luego analizar su comportamiento frente a la metodología actual de estudio y tratar de generalizarlo.

Por otro lado, para la recolección de los datos necesarios para llevar a cabo el proyecto, como fueron las distintas clases de listas enlazadas, la bibliografía a utilizar como contenidos de los videos, entre otras, se utilizó la investigación de campo, resaltando las entrevistas y reuniones con los docentes David Franco y Amaury Cabarcas, quienes impartieron dicha temática (listas enlazadas) dentro del plan de trabajo de la asignatura Estructuras de Datos en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena y han adquirido mucha experiencia y conocimiento en el área, quienes ofrecieron datos relevantes durante el proceso investigativo. Dichos datos fueron útiles para iniciar el proceso de desarrollo del material ilustrativo (cartilla y videos) para facilitar el aprendizaje

de listas enlazadas. Como prueba de esto se encuentran una serie de documentos a manera de anexos digitales, los cuales son nombrados en los siguientes numerales.

6.1. DISEÑO UTILIZADO

La investigación estuvo enmarcada en el desarrollo de una aplicación móvil que sirve como herramienta para facilitar el aprendizaje de listas enlazadas en C++, para lo cual fueron necesarias una serie de entrevistas y reuniones con los docentes David Franco y Amaury Cabarcas, quienes colocaron a disposición toda la documentación, explicaciones y guía concerniente a la temática de listas enlazadas en C++, información con la que se pudo identificar las distintas operaciones (inserción, eliminación, visualización y destrucción) que se pueden realizar en las distintas clases de listas enlazadas (simples, dobles, circulares, pilas y colas, siendo estas últimas casos particulares de listas enlazadas) (Objetivo específico No. 1). Luego con dicha información se procedió a crear los videos que ilustran cada una de las operaciones que se pueden realizar en una lista simplemente enlazada con su respectiva implementación en el lenguaje C++ (Objetivo específico No.2).

Seguidamente se creó la cartilla que contiene información relacionada con la temática de listas enlazadas y los marcadores para poder visualizar los videos desde la aplicación móvil a través de realidad aumentada (Objetivo específico No. 3).

Posteriormente, se desarrolló la aplicación para dispositivos móviles que ayude a facilitar el aprendizaje de listas enlazadas en C++ (Objetivo específico No. 4). Acto seguido, las pertinentes pruebas al aplicativo, junto con la correspondiente documentación con el fin de validar y verificar el correcto funcionamiento de la aplicación (Objetivo específico No. 5) y, finalmente, se alojó la aplicación en un repositorio para que se pueda obtener de una forma sencilla (Objetivo específico 6).

6.2. PROCEDIMIENTO

Con el fin de cumplir con el objetivo general de la investigación, Diseñar e implementar un aplicativo móvil con el fin de apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de listas enlazadas en C++ mediante el uso de Realidad Aumentada, se utilizó una metodología basada en las metodologías AODDEI e ISBC (Ingeniería de Software Basada en Componentes) (Tovar et. al, 2014). Esta metodología combinada fue la que mejor se adaptó a esta investigación.

De esta forma, aplicando las fases que tiene esta metodología, se comenzó con el análisis del negocio. En esta fase se realizó la recolección de información referente al tema de listas enlazadas para poder definir los contenidos que conformarían la base conceptual de los OVAs, a través de revisiones a documentación existente sobre el tema y entrevistas realizadas a docentes que han impartido esta asignatura, se generó el conocimiento necesario para identificar los requerimientos de la herramienta, establecer la estructura esquemática de los OVAs y definir los contenidos temáticos y multimedia de los mismos.

Luego, se llevó a cabo la fase de diseño e identificación de herramientas, en donde se realizó el estudio pertinente para la escogencia de las herramientas de desarrollo que se ajustaran a las necesidades y limitaciones del proyecto. En esta fase, también se diseñaron los diagramas de casos de uso, diagrama de componentes y despliegue, definiendo la arquitectura de la aplicación y la interacción de cada uno de sus componentes.

En la fase de construcción y adaptación de los componentes de ingeniería, se procedió a realizar el desarrollo del aplicativo móvil como tal, al igual que la creación de la animación de la secuencia de imágenes, así como los archivos de sonido y la generación de los marcadores a través de las herramientas escogidas en la fase anterior. Adicionalmente, se obtuvo el material multimedia del aplicativo (fotos, iconos, texturas) para establecer el diseño de la interfaz gráfica de usuario,

así como también el diseño y la elaboración de la cartilla didáctica que contiene la base teórica de los temas y los marcadores de Realidad Aumentada.

Finalmente, una vez terminado todo el desarrollo de la aplicación y sus artefactos, se efectuó la fase de evaluación e implantación con un grupo reducido de estudiantes, que tuvieron la oportunidad de manipular la herramienta didáctica, evaluar su funcionalidad y brindar opiniones sobre la misma.

A continuación, se muestran las fases de la metodología MIXTA y las actividades del proyecto que se desarrollaron en cada una de ellas, así como también, el objetivo específico al cual le dan cumplimiento:

Fase	Actividades realizadas	Objetivos cumplidos
Análisis del negocio	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de información. • Definición de requerimientos. • Definición de estructura de los OVAs. 	1
Diseño e identificación de herramientas	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de herramientas. • Diagramas de diseño (software). 	1
Construcción y adaptación de los componentes de ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la aplicación móvil. • Creación de las animaciones. • Generación de marcadores. • Elaboración de cartilla didáctica. 	2, 3, 4
Evaluación e implantación	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas funcionales de la aplicación. • Evaluación del contenido temático. 	5,6

Tabla 3. Implementación de la metodología mixta para el cumplimiento de los objetivos.

7. DESARROLLO

El proyecto se llevó a cabo a través de la implementación de las cuatro fases de la metodología mixta resultante de la mezcla entre las metodologías AODDEI e ISBC (Tovar & et al, 2014). Se empleó con el fin de cumplir del objetivo general del proyecto que es Diseñar e implementar un aplicativo móvil con el fin de apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de listas enlazadas en C++ mediante el uso de Realidad Aumentada en dispositivos móviles con Android. A continuación, se muestran los resultados en cada una de las fases de la metodología.

7.1. FASE I: ANÁLISIS DEL NEGOCIO

En este paso se cumplió el primer objetivo específico: Determinar los requisitos del aplicativo mediante técnicas de recolección y análisis de información.

Esta fase tuvo como resultado la información relacionada con listas enlazadas en C++, recolectada de distintos tipos de fuentes, entre los que se destacan libros universitarios y páginas web especializadas. También se habló con docentes que han impartido la asignatura de Estructura de Datos, con los cuales se definió el contenido de los Objetos Virtuales de Aprendizaje.

Nombre de los OVAs	Listas simplemente enlazadas, listas doblemente enlazadas, listas circulares simplemente enlazadas, pilas, colas.
Descripción	Comprende la integración entre las distintas operaciones que se pueden hacer en los distintos tipos de listas enlazadas en C++ y la correspondiente secuencia de imágenes.
Nivel académico al que va dirigido	Estudiantes de educación superior.
Perfil del alumno al que va dirigido	Estudiantes de Ingeniería de Sistemas o carreras afines que cursen la asignatura de Estructuras de Datos.
Objetivo de aprendizaje	Herramienta para facilitar el aprendizaje de listas enlazadas en C++
Granulidad	Se encuentran clasificados por medio de las distintas operaciones que se pueden hacer en una lista enlazada: inserción, eliminación, visualización y destrucción.

Tabla 4. Descripción del análisis del dominio.

Luego de las consultas previas, se procedió a realizar los contenidos temáticos de cada módulo, definiendo también los objetivos por tema y sus respectivos logros de aprendizaje, los cuales permiten reconocer que elementos de aprendizaje debe saber el aprendiz luego de utilizar el aplicativo correctamente.

TIPO DE LISTA ENLAZADA	OPERACIÓN	
Lista simplemente enlazada	Insertar	En una lista vacía
		Al inicio
		Al final
		En una posición determinada
	Eliminar	Al inicio
		Al final
		En una posición determinada
Mostrar	Operación única	
Destruir		
Lista doblemente enlazada	Insertar	En una lista vacía
		Al inicio
		Al final
		Antes de un nodo cualquiera
		Después de un nodo cualquiera
	Eliminar	En una lista con un único nodo
		Al inicio
		Al final
		En una posición determinada
	Mostrar	Hacia adelante
		Hacia atrás
Destruir	Operación única	
Lista circular simplemente enlazada	Insertar	En lista vacía
		En lista no vacía
	Eliminar	En una lista con un único nodo
		Al inicio
	Mostrar	Del primer al último nodo
		De forma indefinida
Destruir	Operación única	
Pilas	Insertar	En una pila vacía
		En una pila no vacía
	Mostrar	Operación única
Colas	Insertar	En una cola vacía
		En una cola no vacía
	Eliminar	Operación única
	Mostrar	

Tabla 5. División en categorías de las distintas operaciones en listas enlazadas.

La información recolectada para cada operación se digitalizó para su posterior uso en la creación de la cartilla que sirve de complemento para la aplicación móvil.

A nivel funcional, se realizaron tutorías con el docente David Franco Borré, y teniendo en cuenta la estructura de los Objetos Virtuales de Aprendizaje se definieron los requisitos funcionales del sistema.

ID	Nombre	Descripción
R1	Detectar marcador	El sistema debe permitir la detección de marcadores a través de la cámara del dispositivo que permita visualizar objetos 3D, videos, texto o imágenes.
R2	Contenido multimedia	El sistema debe incluir contenido multimedia tales como texto, imágenes, videos, audio, animaciones, etc., que sirva de apoyo a la temática.
R3	Realizar evaluación sobre los temas definidos	El sistema debe tener una sección de evaluaciones para cada tipo de lista enlazada, en donde se medirán las competencias adquiridas por los estudiantes, de igual forma, deberá brindar una retroalimentación de la misma.

Tabla 6. Requerimientos funcionales del sistema

7.2. FASE II: DISEÑO E IDENTIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS

En esta fase se realizó la investigación correspondiente a las herramientas necesarias y oportunas para el desarrollo de la aplicación, se analizaron diferentes entornos de desarrollo para Realidad Aumentada y herramientas para la realización de las imágenes utilizadas en cada animación.

7.2.1. Identificación y Análisis de Herramientas

Existen varias opciones para desarrollar aplicaciones con Realidad Aumentada. Para efectos de esta investigación y, teniendo en cuenta que la mayoría de estas herramientas son software libre o recurso gratuito, se escogieron los siguientes SDK para ser analizados:

- NyARToolKit
- Wikitude
- AndAR
- ARviewer
- Vuforia

Para determinar cuál de los anteriores SDK para realidad aumentada es el más óptimo para el desarrollo de la aplicación, fue necesario compararlos de acuerdo con los criterios propuestos por Ana Serrano Mamolar (2012) en su trabajo para fin de maestría, donde se hace un análisis comparativo entre los SDK más utilizados para Realidad Aumentada.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Detección del marcador	Detecta el marcador con un alto grado de eficacia
Estable	El contenido 3D se mantiene en el tiempo de ejecución. Diversidad de formatos 3D. Compatibilidad con modelos 3D de diferentes extensiones (.blend, fbx, .obj)
Free software	Su licencia es libre y posee una comunidad amplia
Multiplataforma	Son implementados e interoperan en diferentes plataformas o sistemas operativos de dispositivos móviles (ej.: Android y iOS). Interacción Modelo 3D Permite la libre manipulación del modelo 3D.
Contenido multimedia	Permite agregar contenido multimedia

Tabla 7. Características de los SDKs analizados (Serrano, 2012)

En la tabla 8 se ofrece un resumen comparativo de las características funcionales mencionadas anteriormente.

Aspecto \ SDK	NYART	WIK	AND	ARV	VUF
Detección del marcador	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
Estabilidad	NO	SÍ	NO	NO	SÍ
Diversidad de formatos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
Software libre	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Documentación	SÍ	NO	NO	NO	SÍ
Comunidad de desarrolladores	NO	NO	NO	NO	SÍ
Multiplataforma	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
En desarrollo	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Interacción con el modelo	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
Contenido multimedia	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Tabla 8. Cuadro comparativo de los SDKs analizados (Serrano, 2012)

Después de la comparación anterior, se optó por trabajar con la plataforma gratuita Vuforia SDK, desarrollada por PTC, ya que permite la integración con otras herramientas tales como Android Studio y Unity, facilitando el desarrollo de aplicaciones enriquecidas; tiene como ventajas por encima de otros SDK's para realidad aumentada como Wikitude, la utilización de frame-markers, un mecanismo para la detección de marcadores que facilita la personalización de los mismos. Además, se utilizó el SDK de Android, ya que la aplicación fue desarrollada para dispositivos Android.

7.2.2. Herramientas para la realización de las animaciones

Para realizar las imágenes que explican los pasos de cada operación que se puede realizar en los distintos tipos de listas enlazadas, se utilizó la herramienta de edición de imágenes Adobe Photoshop⁴.

⁴ Photoshop: Es una aplicación desarrollada por Adobe Systems Inc., cuya función principal es la edición de fotografías y gráficos. Es líder mundial del mercado de las aplicaciones de edición de imágenes y domina este sector de tal manera que su nombre es ampliamente empleado como sinónimo para la edición de imágenes en general.

7.2.3. Diseño de la estructura de los OVAs y de la aplicación

Para entender la estructura de los elementos que conforman en OVA, se debe cumplir con los requerimientos expuestos en la tabla 9

OBJETIVO	Apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de listas enlazadas en C++.
CONTENIDO INFORMATIVO	Los OVAs presentan secciones en las cuales el usuario puede acceder al contenido teórico en texto, imágenes y audio referentes a listas enlazadas.
ACTIVIDADES	El aprendiz puede escuchar audio y, al mismo tiempo, ver secuencias de imágenes que explican las distintas operaciones que se pueden hacer en los distintos tipos de listas enlazadas.
EVALUACIÓN	Con el fin de medir el nivel de apropiación de conocimiento por parte de los estudiantes, se realiza una evaluación.

Tabla 9. Estructura de los Objetos Virtuales de Aprendizaje

La tabla 10 muestra una descripción más detallada de la aplicación:

Título	EnlazAR
Palabras claves	Lista enlazada, diseño, implementación
Objetivos y competencias	Facilitar el aprendizaje en el diseño e implementación de listas enlazadas en C++
Contenidos temáticos multimedia	Contenido teórico en texto, imágenes y audio alusivo a las operaciones que se pueden realizar en los distintos tipos de listas enlazadas en C++
Actividades de repaso	Estudiar el material pedagógico presente en la aplicación y en la cartilla física.
Evaluación	Veinte (20) preguntas sobre listas enlazadas.
Retroalimentación	Presentación de respuestas contestadas correcta e incorrectamente.

Tabla 10. Descripción de la aplicación.

Las preguntas correspondientes a la evaluación se encuentran en la carpeta “Evaluación” del CD anexo.

Para diseñar la aplicación se procedió a la elaboración y estructuración de los componentes y a la diagramación de los mismos utilizando el estándar

UML, de esta forma se creó el modelo de dominio y los diagramas de caso de uso, de componentes y de despliegue del sistema.

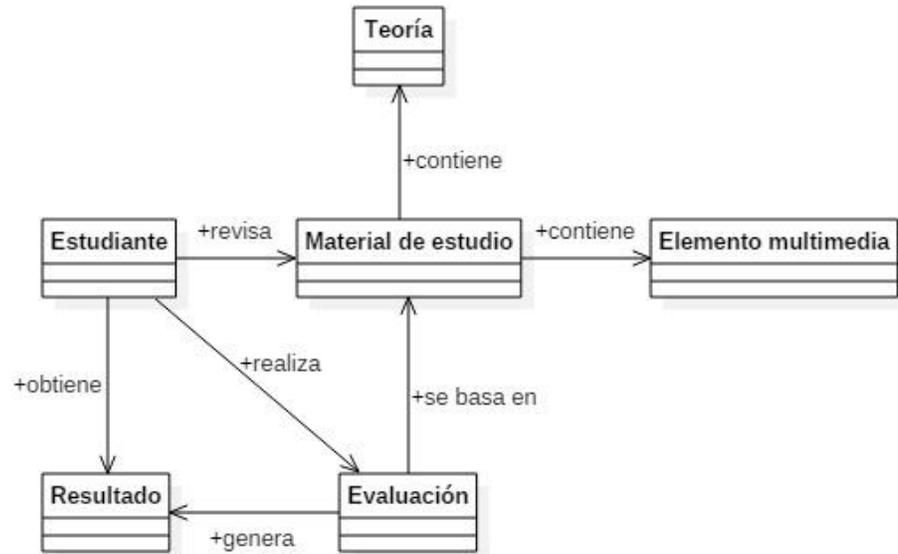


Ilustración 7. Modelo de dominio del sistema.

El diagrama de casos de uso del sistema, en el cual se representa la interacción del usuario con la aplicación y que evidencia la posterior implementación de los requerimientos funcionales del sistema presentados anteriormente, se puede apreciar en la ilustración 8

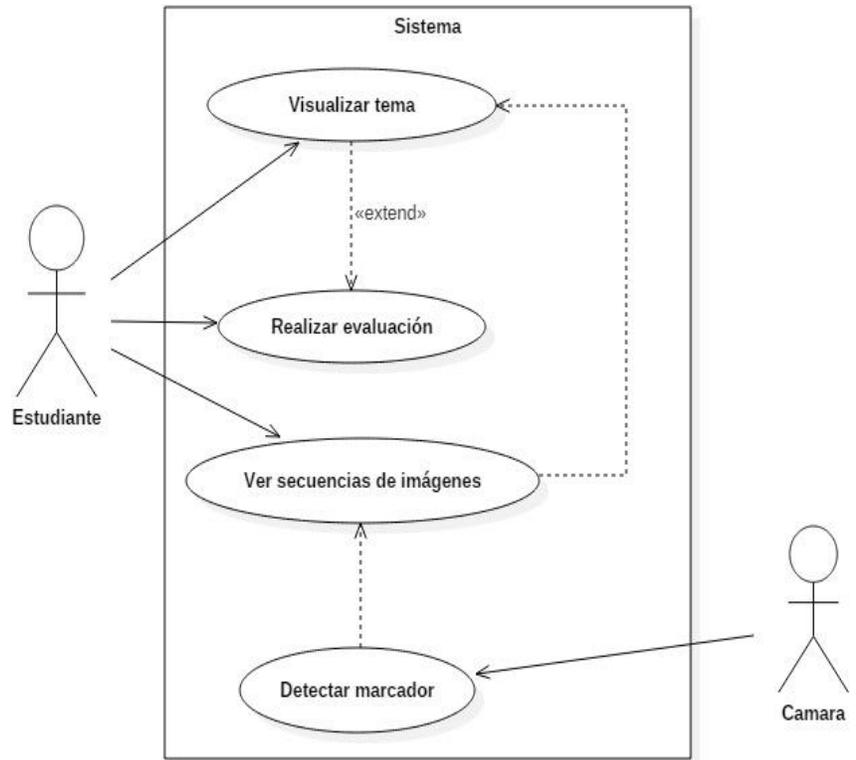


Ilustración 8. Diagrama de casos de uso.

Como se mencionó en el apartado de la Identificación de herramientas, Vuforia SDK de PTC permite su integración con el motor de videojuegos multiplataforma Unity 3D, a través de una extensión para el desarrollo de aplicaciones móviles en Android y iOS. Al manejar esta extensión, el sistema debe contar con los componentes consignados en la tabla 11.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Camera	Este módulo se asegura de que cada frame capturado pase al tracker. En este módulo se debe indicar cuándo la aplicación inicia la captura y cuando termina. El tamaño y formato de cada frame dependerá del dispositivo móvil utilizado.
Image Converter	Este módulo convierte el formato de la cámara a un formato interoperable con OpenGL y para el tracking de los marcadores. Esta conversión incluye reducción de la tasa de muestreo con el fin de disponer de la imagen de la cámara en diferentes resoluciones.
Tracker	Este módulo contiene los algoritmos de visión artificial que se encargan de la detección y rastreo de los objetos de cada frame. Diferentes algoritmos se encargan de la detección de nuevos “targets” o “markers” y de evaluar los botones virtuales. Los resultados son almacenados en un objeto de estado. Este módulo puede cargar múltiples conjuntos de objetos, pero nunca puede haber más de uno activo al mismo tiempo.
Video Background Renderer	Este módulo procesa la imagen almacenada en el objeto de estado. El rendimiento de la representación de vídeo de fondo está optimizado para dispositivos específicos. Todos estos componentes deben ser inicializados en nuestra aplicación. En cada frame se actualiza el objeto de estado y se llama a las funciones de renderizado.
Codificación	Los desarrolladores de aplicaciones deben inicializar todos los componentes anteriores y realizar tres pasos clave en el código de la aplicación <ul style="list-style-type: none"> • Consultar el objeto de estado para comprobar nuevos targets o markers detectados. • Actualizar la lógica de la aplicación con los nuevos datos de entrada • Renderizar los elementos virtuales.
Target Database	Los targets o marcadores son creados mediante un sistema online (Target Management System). Una vez creada la imagen que servirá como target o marcador, se accede a este sistema. Se crea un nuevo proyecto, y se sube la imagen. El sistema devuelve dos archivos: un .Xml con la configuración del target o marcador y un archivo binario que contiene los datos rastreables.

Tabla 11. Componentes de Vuforia SDK en Unity 3D (Serrano, 2012)

El siguiente es el diagrama de componentes del sistema

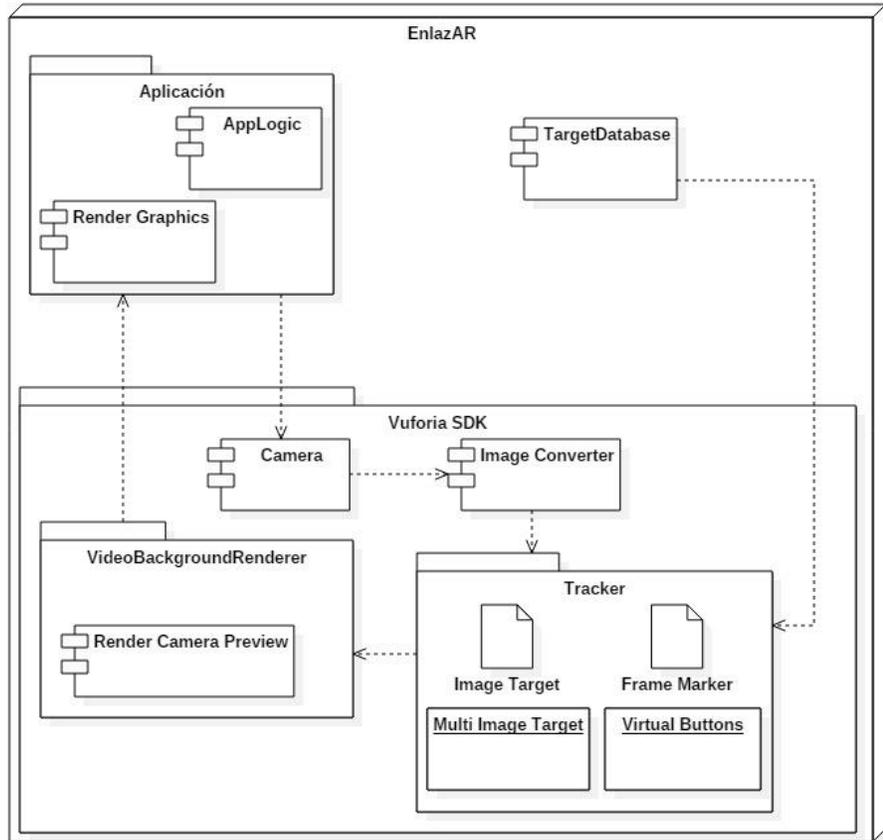


Ilustración 9. Diagrama de componentes del aplicativo desarrollado.

La ilustración 10 muestra el diagrama de secuencia correspondiente al proceso de visualización de componentes de Realidad Aumentada.

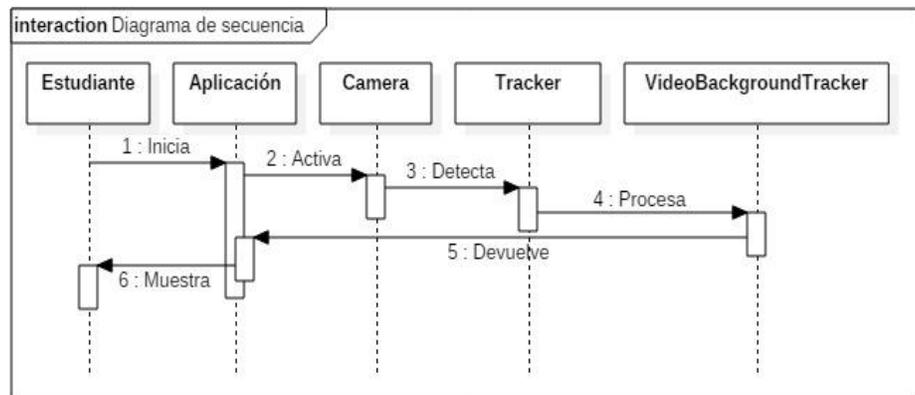


Ilustración 10. Diagrama de secuencia de la aplicación.

7.3. FASE III: CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE LOS COMPONENTES DE INGENIERÍA

En esta fase se llevaron a cabo los objetivos específicos 2 y 4. A partir de las definiciones, caracterizaciones e imágenes que surgieron en la investigación durante la fase I, utilizando la herramienta Adobe Photoshop, se lograron crear las imágenes que hacen parte de las animaciones que explican las diferentes operaciones que se pueden hacer en los distintos tipos de listas enlazadas.

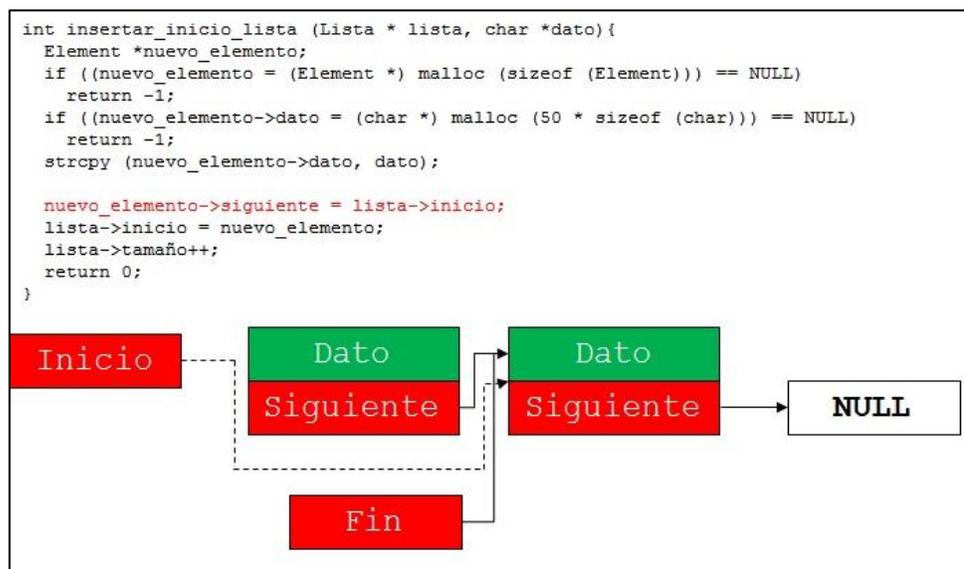


Ilustración 11. Imagen alusiva a uno de los pasos para insertar un elemento al inicio de una lista simplemente enlazada.

Para la creación de los audios que se reproducen junto con las secuencias de imágenes, se utilizó el programa Balabolka, el cual permite la creación de archivos de audio en formato .mp3 a partir de texto ingresado por el usuario.

Para la creación de los marcadores, se utilizó un marcador base en el que se insertó texto para identificar los tipos de lista enlazada y las operaciones que se pueden realizar sobre cada uno de éstos y, para evitar que los marcadores tengan cierta similitud, se utilizó una aplicación web que genera marcadores de Realidad Aumentada llamado Augmented Reality Marker Generator desarrollado por la empresa eslovaca Brosvision (Brosvision, 2013). Este generador de marcadores

brinda la posibilidad de crear marcadores únicos con el fin de no generar conflictos de duplicación al momento del desarrollo del aplicativo. Luego de generar los marcadores aleatorios, se creó el diseño final de los marcadores, los cuales están conformados por el marcador base con el texto indicativo y los marcadores generados por la herramienta web ya mencionada.

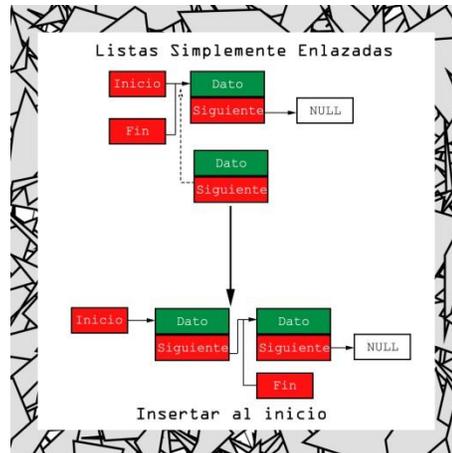


Ilustración 12. Marcador para la operación de insertar un elemento al inicio de una lista simplemente enlazada.

Los marcadores creados cumplen con los requisitos basados en las buenas prácticas sugeridas por el equipo técnico de Vuforia. El sistema analiza la imagen insertada y determina una calificación que indica la efectividad del marcador en función del número de características especiales detectadas por el sistema (Serrano, 2012). En la ilustración 13 se aprecia la calificación que da Vuforia a los marcadores generados en escala de 1 a 5 estrellas. En el CD de anexo, en la carpeta “marcadores”, se encuentran los 36 marcadores diseñados para la aplicación.

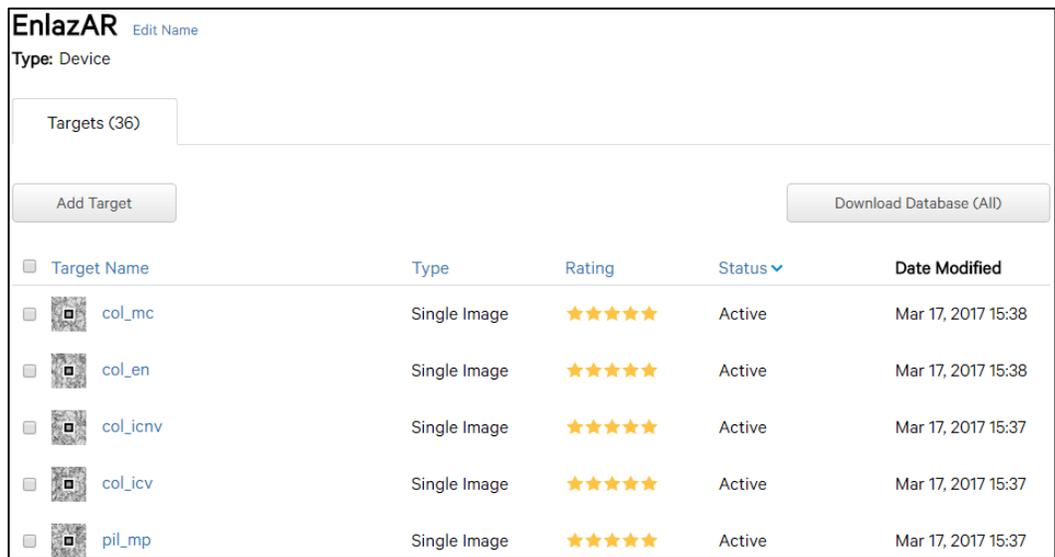


Ilustración 13. Target Manager de Vuforia.

Para construir la aplicación se implementaron los diagramas diseñados en la fase de diseño, a través de la codificación de scripts en los lenguajes de programación Javascript y C# dentro de Unity 3D, que logran cumplir con cada uno de los requerimientos funcionales que se plantearon en la Fase I. Con estos fragmentos de código y el SDK Vuforia se lograron crear los elementos de la interfaz gráfica de usuario y botones virtuales que ayudaran a ejecutar tareas y eventos dentro del sistema como reproducir y detener las secuencias de imágenes y los audios que explican los pasos que conforman las operaciones que se pueden realizar en los distintos tipos de listas enlazadas por medio de los marcadores de Realidad Aumentada y realizar las evaluaciones con su respectiva retroalimentación.

7.4. FASE IV: EVALUACIÓN E IMPLANTACIÓN

7.4.1. Evaluación

Para la implementación de esta fase, se tomó una muestra de estudiantes conformada por un grupo que cursa la asignatura Estructuras de Datos del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, otro grupo que ya cursó dicha asignatura. Esta aplicación se probó en distintos dispositivos móviles con sistema operativo Android. Igualmente se hizo

con el docente actual de la asignatura Estructura de Datos y un grupo de docentes de han impartido dicha asignatura.

Luego de la puesta en de la puesta en práctica del sistema se realizó una consulta tanto a estudiantes como a docentes en la cual se trataron de los siguientes aspectos:

- Interfaz de usuario
- Pertinencia del contenido temático
- Pertinencia del contenido evaluativo
- Facilidad de uso
- Velocidad de respuesta del sistema
- Detección de marcadores

Como resultado de una encuesta realizada a docentes y estudiantes como usuarios finales del aplicativo, acerca de los temas presentados anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados:

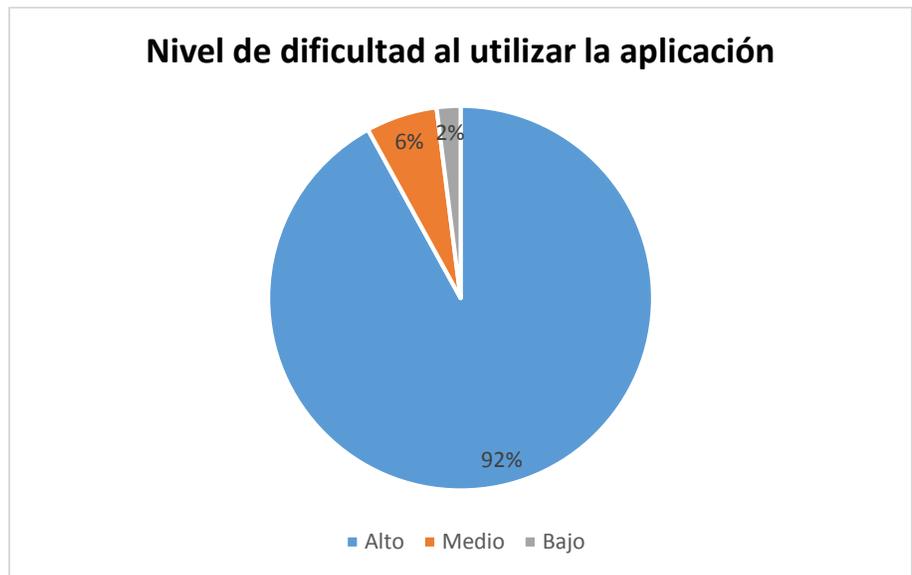


Ilustración 14. Resultado de evaluar el nivel de dificultad de la aplicación.

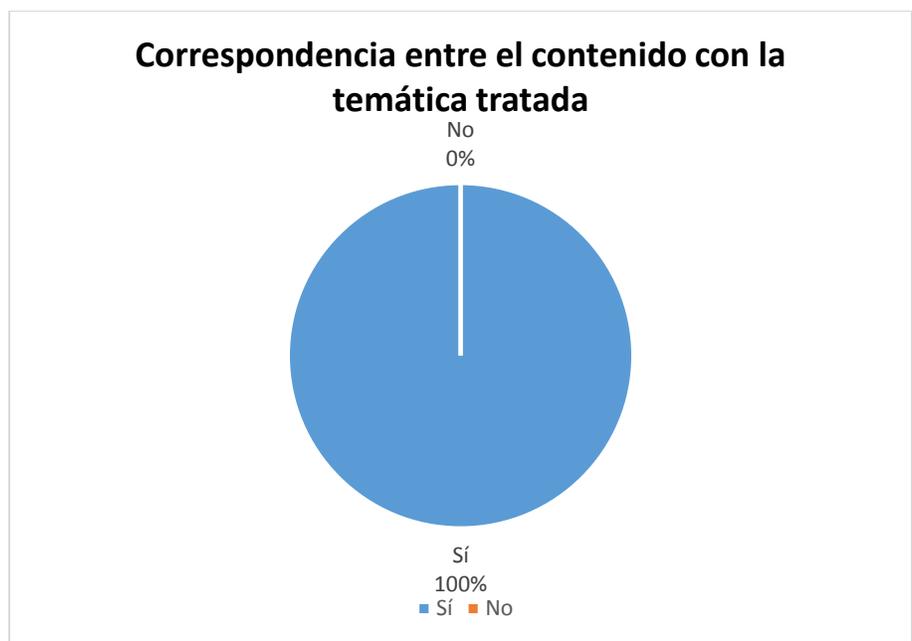


Ilustración 15. Resultado de evaluar la coherencia entre el contenido informativo y la temática que es objeto de estudio



Ilustración 16. Resultado de evaluar la pertinencia del contenido temático.



Ilustración 17. Resultado de evaluar la coherencia entre el contenido evaluativo y el contenido temático.



Ilustración 18. Resultado de evaluar la velocidad de respuesta de la aplicación.



Ilustración 19. Resultado de evaluar la efectividad en la detección de los marcadores.



Ilustración 20. Resultado de evaluar a la aplicación como una herramienta de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.

La totalidad de los estudiantes afirmó que había aprendido algo nuevo luego de la experiencia, resaltaron las facilidades que les proporcionó el material visual manejado en la aplicación y manifestaron que desearían utilizar la herramienta en el aula de clase puesto que de esta manera no verían estas lecciones como tediosas.

Al consultar a los docentes encuestados sobre el rendimiento y las características de la aplicación se recolectaron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Declararon que el sistema tiene un alto nivel de usabilidad afirmando que la aplicación es agradable a la vista y posee contenido gráfico apropiado para la temática tratada.
- En cuanto a los contenidos temáticos los docentes afirmaron que podía ampliarse agregando información sobre estructuras de datos no lineales.

- El contenido evaluativo fue considerado de mediana dificultad, en ocasiones muy literal con respecto a la temática presentada.

7.4.2. Implantación

La aplicación ha sido diseñada para ejecutarse sobre dispositivos móviles con el sistema operativo Android desde su versión 2.3.3 “Gingerbread” en adelante. Tiene como complemento importante la cartilla igualmente diseñada en esta investigación, ya que si no se tiene acceso a ésta o a los marcadores generados no se podrá visualizar la Realidad Aumentada.

8. CONCLUSIONES

Como conclusión es pertinente decir que en este proyecto investigativo se buscó implementar tecnología basada en Realidad Aumentada para dar apoyo en la enseñanza de listas enlazadas, que corresponde a una parte del plan de estudios correspondiente a la asignatura Estructuras de Datos. Concretamente se desarrollaron secuencias de imágenes y audios integrados en una aplicación para dispositivos bajo sistema operativo Android con la cual pueda hacerse más entretenido el proceso educativo.

Para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados en la investigación se realizaron una serie de reuniones y entrevistas con las que se pudo establecer la temática que abarcó la cartilla complementaria a la aplicación. Posterior a esto, se investigó acerca de herramientas para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada, como lo son motores gráficos, librerías para el desarrollo de software y programas informáticos para la creación de las imágenes que corresponden a cada secuencia. Por último, pero no menos importante se realizaron pruebas para garantizar un correcto funcionamiento y verificar la pertinencia de los modelos y material interactivo inmerso en la aplicación.

La aplicación obtenida al término del proyecto y la cartilla didáctica contienen información relacionada a la temática de listas enlazadas, con el fin de que puedan ser utilizados de manera directa por los estudiantes que cursan dicha asignatura, de igual manera por los docentes titulares de esta, brindando un mayor grado de entretenimiento y captando mejor la atención del estudiante.

En el transcurso del proyecto se obtuvieron resultados que en ocasiones no fueron los esperados, uno de estos resultados -y quizá el más relevante- fue el mal diseño inicial de los marcadores de Realidad Aumentada, puesto que había mucha similitud entre ellos; lo cual generaba la misma secuencia de imágenes al momento de enfocar marcadores distintos. Este inconveniente se solucionó, generando marcadores completamente distintos entre sí.

9. RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros sería interesante a nivel funcional la implementación de múltiples targets en la realidad aumentada, elementos que ya maneja Vuforia SDK, así como de animaciones más complejas y mayor nivel de interacción con los elementos visibles en la realidad aumentada para que estos puedan ser examinados de manera táctil.

A nivel académico se sugiere abarcar la temática de estructuras de datos no lineales (árboles y grafos) con el fin de crear una aplicación integral en la que el aprendizaje de la asignatura Estructuras de Datos sea más dinámica.

BIBLIOGRAFÍA

AndAR. (2011). Recuperado el 27 de febrero de 2014, de AndAR:

<http://code.google.com/p/andar/>

ARviewer SDK. (2011). Recuperado el 27 de febrero de 2014, de ARviewer SDK:

<http://www.libregeosocial.org/node/24>

Attewell, J. (2005) *Mobile technologies and learning: A technology update and m-learning project summary*. Learning and Skills Development Agency, European Commission Information Society and Media Directorate-General. ISBN 1-84572-140-3. The 4th World Conference on Mobile Learning, mLearn, South Africa, 2005. pp 1-25.

Recuperado el 27 de febrero de 2014, de:

<http://www.m-learning.org/archive/docs/The%20m-learning%20project%20-%20technology%20update%20and%20project%20summary.pdf>

Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 34-47.

Barrios, N., Ferrer, R., & Tovar, L. (2016). Desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje como apoyo al estudio de la endodoncia en la Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia

Basogain X., Olabe M., Espinosa K., Rouèche C., & Olabe J. C. (2007). *Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Anobium S.L.: http://www.anobium.es/docs/gc_fichas/doc/6CFJNSalrt.pdf

Betín, J., Pomares, A., & Puello, P. (2013). *Desarrollo de Objetos Virtuales de Aprendizaje para la anatomía de las estructuras de soporte de los órganos dentarios en la Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena*. Cartagena, Colombia.

- Bellón, S., Creixell, J., & Serrano, Á. (2010). *Look!: Framework para Aplicaciones de Realidad Aumentada en Android*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Universidad Complutense de Madrid: <http://eprints.ucm.es/13050/1/Memoria.pdf>
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (Junio de 2001). *The MagicBook: Moving Seamlessly between Reality*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de www.ieee.org: <http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2234/dl/mags/cg/2001/03/mcg2001030006.pdf>
- Bohórquez, J., Velásquez, C., & Tovar, L. (2013). *Desarrollo de Objetos Virtuales de Aprendizaje para el estudio de la anatomía de órganos dentales en la Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena*. Cartagena, Colombia
- Brosvision Augmented Reality Marker Generator (2013). Recuperado el 17 de marzo de 2017 de <http://www.brosvision.com/ar-marker-generator/>
- Cabrera, J. S. (2013) *La Comprensión del Aprendizaje desde la Perspectiva de los Estilos de Aprendizaje*. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos14/compraprendizaje/compr-aprendizaje.shtml>
- Carrasquilla, G., Pinilla, H., & Tovar, L. (2011). *Aplicación de la Realidad Aumentada en la enseñanza de la simetría molecular para lograr un aprendizaje significativo*. Cartagena, Colombia
- Coronel, C., Tovar L., Montero, P. (2016). Creación de un magicbook como apoyo de aprendizaje en la asignatura procesos de alimentos II del programa de Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- Davis, A. (1993) *Software Requirements: Objects, Functions and States*. Editorial Prentice Hall. Englewood-Cliffs, NJ, EE.UU.
- Dawabi, P., Wessner, M., Neuhold, E. (2004). Using mobile devices for the classroom of the future. In *Learning with mobile devices research and development*. Editado por Attawell, J. & Savill-Smith C. pp. 55-59

- Deitel, H.M & Deitel, P. J. (2013). *Cómo programar en C/C++*, 9^{na} edición. Editorial Prentice Hall.
- Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Javeriana de Bogotá. (2008). *DRAT: Artefacto Crítico*. Recuperado el 27 de febrero de 2014 de PEI: Programa Internacional: <http://www.peiprogramainternacional.org/drat/>
- Fajardo, J., Pereira, W., & Tovar, L. (2013). *Aplicación interactiva basada en Realidad Aumentada para el aprendizaje de ajedrez básico*. Cartagena, Colombia
- Felder, R., & Soloman, B. (1999). *Learning styles and strategies*. Recuperado el 10 de marzo de 2014, de: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/styles.htm>
- Gallego, A y Martínez, E. (2003) *Estilos de Aprendizaje y E-learning. Hacia un Mayor Rendimiento Académico*. Departamento de Economía de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en <http://www.um.es/ead/red/7/estilos.pdf>
- Guerrero, M., & Medina, S. (2010). *Aprendizaje De La Programación En Ingeniería De Sistemas Utilizando Objetos Virtuales De Aprendizaje*. Recuperado el 28 de febrero de 2014, de: <http://www.istec.org/wp-content/gallery/ebooks/ace/docs/ace-seminar09-final2.pdf>
- Heredia, A., Méndez, J., & Tovar, L. (2014). *Desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje para el estudio de la anatomía del sistema de inervación y de vascularización de los órganos dentales en la Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena*. Cartagena, Colombia
- Hernández R. (2010). *Metodología de la Investigación*, 5^{ta} edición. Editorial Prentice Hall.
- Hsiao, K.-F., & Rashvand, H. F. (2011). *Body Language and Augmented Reality Learning*. Recuperado el 28 de febrero de 2014, IEEE: <http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2234/dl/proceedings/mue/2011/4470/00/4470a246.pdf>

Institute for Software Technology and Interactive Systems & Vienna University of Technology. (2002). *An Application and Framework for using Augmented Reality in Mathematics and Geometry Education*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Interactive Media Systems Group: <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial & Universidad Politécnica de Valencia. (2010). *Learning words using Augmented Reality*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de www.ieee.org:
<http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2234/dl/proceedings/icalt/2010/4055/00/4055a422.pdf>

Lee, S. H., Choi, J., and Park, J. (2009) *Interactive e-learning system using pattern recognition and augmented reality*. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 55(2):883 – 890, May 2009. Recuperado el 27 de febrero de 2014 de:
http://cgit.nutn.edu.tw:8080/cgit/PaperDL/CUC_110118152121.PDF

Lonsdale, P., Baber, C., Sharples, M., & Arvanitis T. (2004). *A context-awareness architecture for facilitating mobile learning*. In Learning with mobile devices, research and development. Editado por Attewell, J. & Savill-Smith C., pp. 79-85. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de:
<http://www.peterlonsdale.plus.com/papers/mlearn2003lonsdale.pdf>

Lung, L., Zabaleta, M., Tovar, L. (2015). *Herramienta didáctica para la enseñanza de accidentes geográficos basada en objetos virtuales de aprendizaje y realidad aumentada*. Cartagena, Colombia.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D (12).

Montgomery, S. (1998) *Addressing Diverse Learning Style Through the Use of Multimedia*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=483093&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D483093.

Mosquera, H. (2007). Módulo Curso Estructuras de Datos. Vicerrectoría de Medios y Mediaciones Pedagógicas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia.

NyARToolKit. (2010). Recuperado el 27 de febrero de 2014, de NyARToolKit: <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wiki/index.php?NyARToolkit%20for%20Android.en>

Pérez, D. (2009). *Desarrollo de sistemas de realidad virtual y aumentada para la visualización de entornos acrofóbicos*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Dialnet: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=21502>

Pérez, M. L., Hernández, P. A., Escuadra, J. y Rubio, M. P. (2006). Una Herramienta Para Facilitar El Proceso De Enseñanza-Aprendizaje De Las Estructuras De Datos. Recuperado el 28 de noviembre de 2013, de: <http://www.uv.es/eees/archivo/RD4A1.pdf>

Polo, M. J., Moreno, A. M., Álvarez, I., Álvarez, S., Curto, B., Moreno, V., García, J.R y Blanco, F. J. (2011) Herramienta para el aprendizaje visual y dinámico de estructuras de datos. Recuperado el 28 de noviembre de 2013, de: http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/120817/1/MID_11_150.pdf

Portal Educativo de Medellín (2014). Educación a distancia: de la carta al celular. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de: http://www.medellin.edu.co/sites/Educativo/Docentes/Noticias/Paginas/ED11_LN_EB_MLearning.aspx

Portalés, C. (2008). Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Dialnet: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18211>

- Rodríguez, J. P. (2011). *Realidad aumentada para el aprendizaje de ciencias en niños de educación general*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ciencias de la Computación. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-rodriguez_jl/pdfAmont/cf-rodriguez_jl.pdf
- Sarmiento, M. (2007). *La enseñanza de las matemáticas y las NTIC. Una estrategia de formación permanente*. Recuperado el 7 de abril de, http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8927/F-TEISIS_CAPITULO_4.pdf?sequence=6
- Serrano, A. (2012). *Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de Realidad Aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas*. Recuperado el 25 de marzo de 2017 de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18028/Memoria%20TFM%20Ana%20Serrano.pdf?sequence=1>
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2006). *Understanding virtual reality: interface, application, and design*. Morgan Kaufman.
- Tarng, W., & Ou, K.-L. (2012). *A Study of Campus Butterfly Ecology Learning System based on Augmented*. Recuperado el 28 de febrero de 2014, de [www.ieee.org: http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2234/dl/proceedings/wmute/2012/4662/00/4662a062.pdf](http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2234/dl/proceedings/wmute/2012/4662/00/4662a062.pdf)
- Tovar, L., Bohórquez, J. A., Puello, P. (2014). *Propuesta Metodológica para la Construcción de Objetos Virtuales de Aprendizaje basados en Realidad Aumentada*. Recuperado el 11 de enero de 2016 de SCIELO: <http://www.scielo.cl/pdf/formuniv/v7n2/art03.pdf>
- Vargas, Z. R. (2008). *La investigación aplicada: una nueva forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Recuperado el 10 de marzo de 2014, de REDALYC: <http://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

Vuforia SDK. (2011). Recuperado el 27 de febrero de 2017, de Vuforia:

<https://www.vuforia.com/>

Wikitude. (2011). Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Wikitude:

<http://www.wikitude.com/en/>

Zlatanova, S. (2002). *Augmented Reality Technology*. (G. Technology, Ed.) Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Citeseer:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.7437&rep=rep1&type=pdf>

Zurita, G., & Nussbaum, M. (2001). *Mobile CSCL applications supported by mobile computing, AI-ED 2001*. Multi-agent architectures for distributed learning environments workshop. San Antonio, Texas, EEUU, pp. 41-48. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de:

http://www.academia.edu/1876515/Mobile_CSCL_applications_supported_by_mobile_computing

Zurita, G., & Nussbaum, M. (2007). A conceptual framework based on activity theory for mobile CSCL. *British Journal of Educational Technology*, 38(2), pp. 211. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de:

http://www.captura.uchile.cl/bitstream/handle/2250/10711/Zurita_Gustavo.pdf?sequence=1