

# DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA, PARA EDUCACIÓN Y TELE-EDUCACIÓN

Javier Rivadeneira, Paúl Bernal, Román Lara  
Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí-Ecuador

**Resumen**—La Realidad Aumentada (AR) es una tecnología que complementa la percepción e interacción con el mundo real y permite al usuario estar en un entorno real aumentado con información adicional generada por el computador [5]. La investigación realizada se encuentra dividida en dos partes fundamentales. La primera consiste en el estudio del procesamiento digital de imágenes empleados en la detección y reconocimiento de marcadores así como los métodos empleados para la creación de marcadores en alto contraste, la generación de matrices útiles para calcular la posición de estos marcadores dentro de la escena, y la creación de modelos 3D que posteriormente serán renderizados. La segunda parte se basa en el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para la educación y tele-educación con las herramientas previamente mencionadas y con el lenguaje de programación que más se adapta a las necesidades del proyecto. Se presenta una introducción a las librerías existentes en los diferentes lenguajes de programación y se define a la que cumple con las características. Se detalla las necesidades educativas por parte de un docente de una escuela ubicada en Quito-Ecuador. Por lo cual la aplicación está desarrollada para materias como ciencias sociales con un agregado de interactividad del usuario a través de los mismos marcadores.

## I. INTRODUCCIÓN

Esta tecnología está introduciéndose en nuevas áreas de aplicación como son el entrenamiento de operarios de procesos industriales, marketing, el mundo del diseño interiorista y guías de museos. El mundo académico no está al margen de estas iniciativas y también ha empezado a introducir la tecnología de la AR en algunas de sus disciplinas [4]. Sin embargo el conocimiento y la aplicabilidad de esta tecnología en la docencia son mínimos. Entre otros motivos se debe a la propia naturaleza y estado de desarrollo de dicha tecnología, así como también a su escasa presencia en los ámbitos cotidianos de la sociedad. El desarrollo de iniciativas en la utilización de esta tecnología en la educación y su divulgación contribuirán a una mejora significativa en la comunidad académica.

La AR y la tele-educación se han convertido en un área de investigación activa que abarcan diversas disciplinas de las telecomunicaciones, como procesamiento digital de imágenes, reconocimiento de patrones, video en tiempo real, visión por

computador, transmisión efectiva de datos y redes neuronales [6]. El avance tecnológico en el campo de la AR, influye en muchos aspectos de la vida cotidiana (el trabajo, la educación, la salud, el hogar). Con dichos avances se podrá modificar la manera de percibir la realidad que nos rodea, especialmente en las aulas, donde niños de tempranas edades podrán observar figuras tridimensionales en espacios físicos reales de su entorno, de igual manera alumnos de niveles superiores podrán explorar una gama de recursos didácticos que hace pocos años solo eran parte de la ciencia ficción. Profesionales contarán con una gama de útiles herramientas para transmitir sus ideas a sus colaboradores y con esta vía facilitar cualquier actividad relacionada con la transmisión de conocimientos.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II se describe el marco teórico que sustenta la investigación realizada. En la sección III se encuentran los materiales y métodos empleados para generar AR. En la sección IV se explica cuáles fueron los parámetros de diseño para la aplicación así como un análisis del funcionamiento de la aplicación. El análisis de los resultados obtenidos así como la posible implementación y discusión detallan en las secciones V y VI respectivamente.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Para que una aplicación pueda ser definida como una aplicación de AR debe cumplir con lo siguiente [1]:

- Combinar objetos virtuales con el mundo real: A este proceso se lo conoce como renderización, y consiste en montar imágenes 3D generadas desde un computador a la escena que la cámara web capta. En este proceso se puede generar mucho costo computacional por lo que se recomienda generar imágenes 3D simples
- Ser interactiva en tiempo real: Las rotaciones e interacciones a través de marcadores deben darse en tiempo real, es decir no producir un retardo evidente entre el stream captado y el aumentado
- Los objetos virtuales se presentan en tres dimensiones: Los objetos deberán ser figuras 3D generadas por software especializados

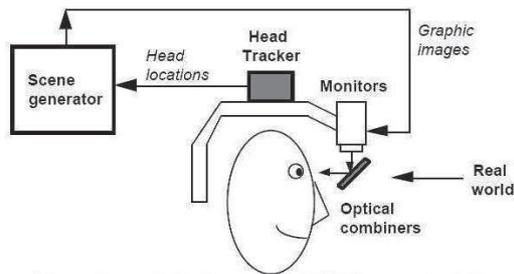


Fig. 1: AR utilizando HMD óptico [2]

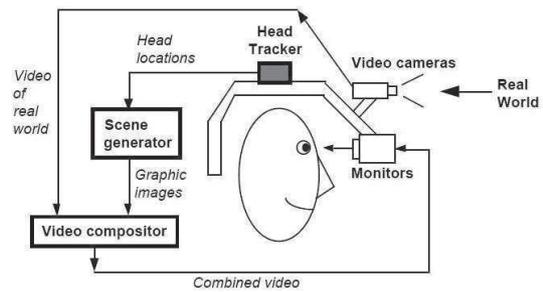


Fig. 2: AR usando HMD basado en video [2]

### B. COMBINACIÓN DE LA REALIDAD CON LO VIRTUAL

Una decisión básica a la hora de construir un sistema de AR es como realizar la combinación de lo real y lo virtual. Las dos opciones básicas son las tecnologías ópticas o las de video. Un monitor montado en la cabeza (HMD) [9] con combinador óptico, funcionará por medio de la colocación de combinadores ópticos en frente de los ojos del usuario. Estos combinadores son semitransparentes, de manera que se puede ver el mundo real a través de ellos e imágenes virtuales reflejadas sobre los mismos. La figura 1 muestra el esquema clásico de AR que utiliza combinadores ópticos [8].

Los combinadores ópticos, al no ser completamente transparentes, reducen la cantidad de luz que el usuario percibe del mundo. Esto hace que la elección del nivel de mezclado con la realidad y los dispositivos a utilizar constituye un problema importante de diseño. Hay algunos combinadores bastante sofisticados que permiten seleccionar que longitudes de onda de luz serían reflejadas y cuáles no, lo que sería ideal para sistemas monocromáticos [2].

A diferencia de los sistemas con combinadores ópticos, los sistemas de AR por medio de video son de vista cerrada, es decir, que una vez colocado impide ver el mundo real. Dependiendo de la presentación del video y si este es HMD se le agregan una o dos cámaras que funcionan como "ojos" del usuario hacia el mundo real. El video que estas cámaras captan se combina con los gráficos virtuales creados por el generador de escena y el resultado se muestra en pantalla. La figura 2 muestra un esquema de cómo funciona un sistema HMD de AR por medio de video. En la figura 3, se muestra un sistema de AR basado en monitor de escritorio, opcionalmente se puede utilizar un monitor estereoscópico, en cuyo caso será necesario que el usuario use lentes especiales para dicho monitor.

### C. TÉCNICAS DE COLOCACIÓN DE OBJETOS VIRTUALES

1) *Marcadores Predefinidos*: Se entiende por un marcador predefinido un objeto plano con una textura sencilla, generalmente monocromática, que será reconocido y ubicado por el sistema y con la información obtenida a partir de uno o varios marcadores se realizará la calibración de la cámara y

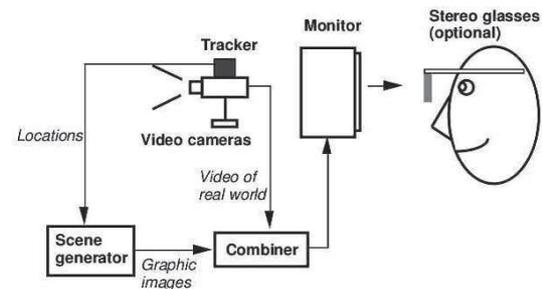


Fig. 3: AR con un esquema basado en un monitor de escritorio [2]

la colocación de los objetos virtuales en la escena (figura 4)

2) *AR sin marcadores*: Cuando se desea prescindir de los marcadores en una aplicación de AR, se debe recurrir a técnicas de visión computacional que consumen mayor cantidad de recursos, por eso, en ocasiones resulta necesario realizar un procedimiento de la escena previo a la operación del sistema. Generalmente se parte de algunos elementos conocidos en la escena para realizar la calibración de la cámara y localizar los objetos importantes y luego se procede con la colocación de los objetos virtuales.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. APLICACIÓN DE AR EN MATLAB<sup>®</sup> [7]

Esta aplicación busca guiar al usuario a través del procesamiento digital que se le da a la imagen para obtener el marcador correspondiente, no se utilizará marcadores

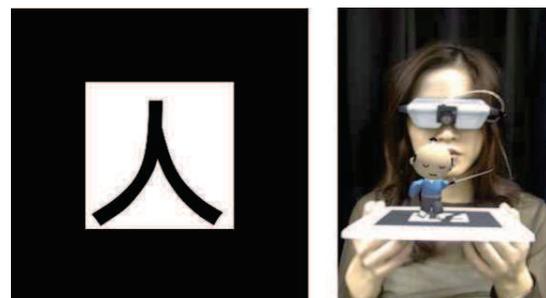


Fig. 4: Izquierda: marcador predefinido. Derecha: AR montado sobre el marcador [3]

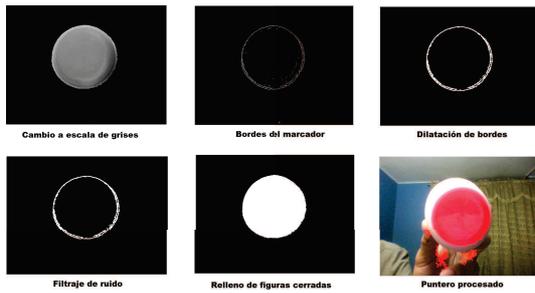


Fig. 5: Procesamiento digital de imagen en MATLAB

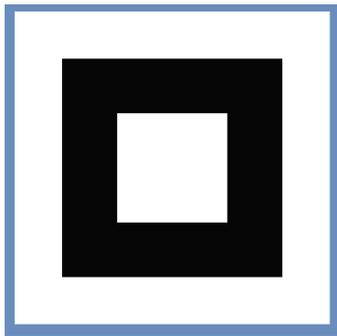


Fig. 6: Marcador ideal de alto contraste

monocromáticos tipo matriz [3] con el propósito de generalizar el procesamiento. La aplicación no implementa la mezcla de lo real con lo virtual de forma sofisticada, apenas busca destacar los marcadores de una escena y procesarla para su posterior presentación y análisis en una secuencia de imágenes (video), con esto se presenta la base fundamental de la AR que es la calibración de cámara, reconocimiento de escena y reconocimiento de marcadores.

El proceso de la detección del marcador se muestra en la figura 5.

### B. MARCADORES

En la figura 6 se muestra un marcador ideal es una figura cuadrada de alto contraste en cuyo interior se encuentra el arte del marcador [11], lo cual diferencia del resto de marcadores y proporciona la información necesaria a la aplicación para el procesamiento de la escena.

El arte del marcador consiste en figuras preferiblemente de color negro dentro del marcador ideal. Se recomienda que el marcador no sea simétrico horizontal ni verticalmente, del mismo modo, se pide que el marcador contenga figuras básicas y fácilmente diferenciables.

### C. SAN

Con el fin organizar a la aplicación se a creado un protocolo propio para el arte que se lo ha denominado SAN por sin siglas Sección-Asignatura-Número. Como se muestra en la figura 7 el protocolo está inspirado en los cuadrantes de un sistema cartesiano, cuyo primer cuadrante expresa el nivel escolar de la materia a ser impartida, el segundo cuadrante contiene la

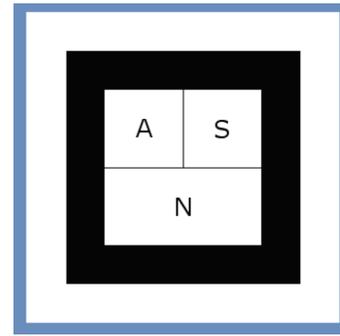


Fig. 7: Protocolo propio SAN utilizado para la creación de marcadores



Fig. 8: Modelo en 3D de un tucán sobre un marcador

asignatura finalmente el tercer y cuarto cuadrante contienen el número por orden de creación del marcador todos estos números están expreados en hexadecimal.

### D. MODELOS

Los modelos son figuras en 2D o 3D en el ámbito virtual que se superponen a un marcador, la mayoría de modelos para AR son en 3D y algunos muestran figuras con posibilidad de ser animadas. El modelado en 3D, es el arte de diseñar objetos en 3D, por lo general utilizando algún tipo de software de diseño.

Un modelo en 3D sobre un marcador se muestra en la figura 8, donde apreciamos también la mezcla de la realidad con lo virtual (AR).

## IV. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

### A. PARÁMETROS DE DISEÑO

Con la ayuda de la Lic. Jenny Ortiz Coordinadora de área del quinto año de educación básica de la Unidad Educativa FAE No 1 de la república del Ecuador, se ha revisado varios criterios bajo los cuales se planteará el diseño de la aplicación. La docente sugirió enfocarse en las asignaturas de Ciencias Naturales y Estudios Sociales, ya que las propiedades intrínsecas de estas materias requieren material audiovisual para mayor retención por parte de los estudiantes.

Algo que diferencia a la aplicación de este proyecto con otras, es la interacción del usuario con la aplicación a través de los mismos marcadores, de esta manera, el usuario podrá manipular del modelo 3D su tamaño y la orientación del mismo, tendrá 4 marcadores auxiliares de control, dos para

cambiar el tamaño del modelo, uno con símbolo '+' y otro con símbolo '-'

### B. Librerías disponibles para la creación de AR.

A partir del año 1999 cuando Hirokazu Kato creó la librería ARToolKit, se han derivado diversas librerías en distintos lenguajes de programación basados en C. La mayoría de estas librerías son de tipo freeware y están diseñadas para realizar las tareas necesarias de registro, así como la composición de la escena en tiempo real. Estas librerías presentan técnicas de visión por computador basadas en registros de una serie de marcadores para el cálculo de la matriz de transformación.

En la tabla I se encuentra algunas características de las principales librerías creadas para AR.

**Tabla I:** ARToolKit

Librería	Lenguajes	S.O.	Render	Licencia	Autor
ARToolKit [12]	C/C++	Windows, Mac OS X, Linux	OpenGL	GNU GPL	Hitokazu Kato 1999
FLARToolKit [13]	Flash, AS3	Windows, Mac OS X	Paper Vision	GNU GPL	Sagoosha
ARTag	CSharp, C/C++	Windows, Mac OS X, Linux	OpenGL	GNU GPL	Mark Fiala, IIT, NCR Canadá
NyARToolKit	CSharp, C/C++, Java, JavaScript	Windows, Mac OS X, Linux, Android	OpenGL, Srocessing	GNU GPL	PukiWiki Developers Team, Japon
JARToolKit	Java, JavaScript	Windows, Mac OS X	OpenGL, Srocessing	GNU GPL	Jorg Stocklein, Tim Schmidt
SLARToolKit	CSharp, C/C++, Silverlight	Windows	OpenGL	GNU GPL	René Schule

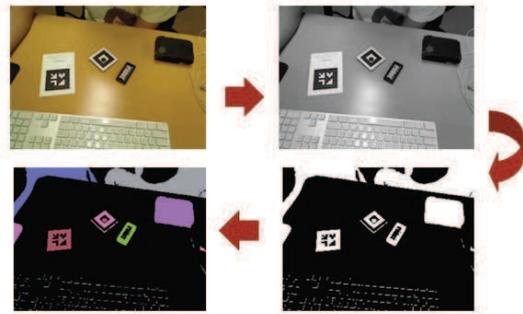
La aplicación en este proyecto necesita ser multiplataforma, de fácil distribución y con una Renderización de gráficos simple. Teniendo esto presente y junto con la información entregadas por las tablas anteriores, se vuelve obvio el uso de FLARToolKit y FLARMANAGER [14] para la aplicación.

### C. FLARManager

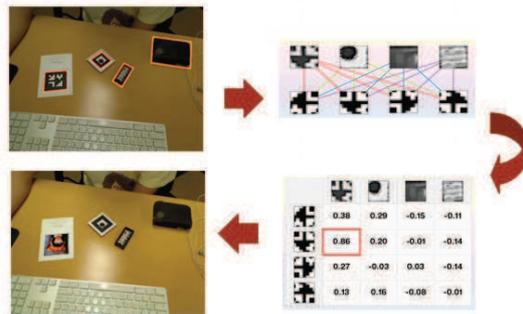
Es un framework desarrollado por Eric Socolofsky que facilita la creación de aplicaciones de AR para Flash. Es compatible con una variedad de librerías de tracking y de renderización, y proporciona un sistema más robusto basado para eventos de adición, actualización y eliminación de marcadores. Es compatible con la detección y el manejo de múltiples patrones y marcadores múltiples de un patrón dado.

En las figuras 9 y 10 se muestra el funcionamiento de la librería FLARToolKit, comienza con un streaming de video y la captura de una imagen, posteriormente transforma la imagen

a escala de grises para luego dejar la misma en alto contraste, esto con la finalidad de reconocer los posibles marcadores en la escena. Luego de reconocer los posibles marcadores hace un análisis utilizando las matrices que la aplicación tiene almacenadas previamente, obtiene un coeficiente del 0 al 1, este coeficiente representa la calificación que le da la aplicación al marcador en la escena con respecto a los almacenados.



**Fig. 9:** Procesamiento digital de imágenes utilizado por FLARToolKit parte 1



**Fig. 10:** Procesamiento digital de imágenes utilizado por FLARToolKit parte 2

### D. EJECUCIÓN

En la figura 11 se muestra la ejecución de la aplicación ya terminada, se puede observar las diferentes interacciones que tiene esta aplicación y las diferentes rotaciones

## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. USO DE LA AR EN LA EDUCACIÓN

El martes 19 de marzo del 2013, en una visita a la Unidad Educativa "Saint Dominic", niños y niñas de segundo grado de educación básica experimentaron de cerca la AR con el tema "Sistema Sola"; con la finalidad de obtener datos empíricos del uso de la AR en un entorno educativo. Para la sostenibilidad de este proyecto se vuelve necesaria una prueba en un entorno real que cumpla las condiciones para las cuales fueron pensadas. Es fundamental la observación del desempeño del proyecto y la aceptación que tienen los estudiantes para el mismo así como procurar la mayor retención por parte de los estudiantes y un método más sencillo de transmisión de

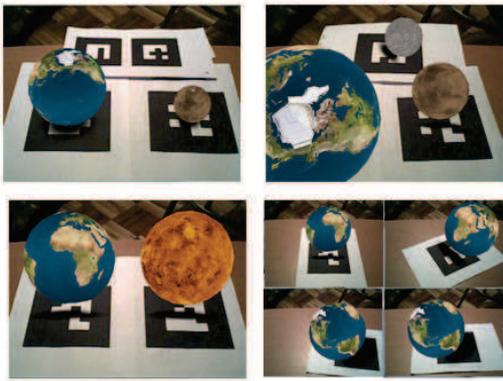


Fig. 11: Interacción de los modelos 3D de AR con el usuario

conocimientos para los docentes.

Al final de la presentación se obtuvo los resultados esperados, los niños mostraron interés y curiosidad para la aplicación, se transmitió conocimiento y los niños tuvieron una mayor retentiva con los conocimientos impartidos. Como se muestra en la figura 12



Fig. 12: Docente utilizando la aplicación

**B. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE MARCADORES**

Tal como se explica en la sección SAN, los marcadores tienen un protocolo para producir su arte, en este proyecto se han generado los 255 posibles marcadores teniendo en cuenta que los parámetros S y A son fijos para Sección y Asignatura, de estos marcadores, se han seleccionado de manera aleatoria 30, con los cuales se realizaron los diferentes análisis. Los resultados muestran 7 marcadores que se presentan en la figura 13, que al compararlos no muestran error en la aplicación, estos marcadores son 4207, 426C, 4277, 4296, 42A9, 42DC, 42EB.

El marcador 4107 se tomó como marcador de referencia, en estas pruebas de ejecución previas a la aplicación definitiva se comprobó el desempeño de los marcadores con diferentes dimensiones (tamaño de la matriz) resultando en lo explicado en las figuras 14 y 15 donde se evalúa la definición del marcador frente al reconocimiento, discernimiento y el promedio de los anteriores. Siendo el discernimiento la capacidad de la

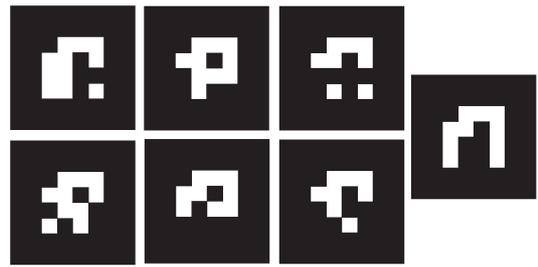


Fig. 13: marcadores seleccionados

aplicación de diferenciar a un marcador similar de otro y el reconocimiento la capacidad de identificar el marcador dentro del streaming de video de cualquier marcador. Valorando el desempeño del marcador con puntajes de 1 al 10 se obtuvo el promedio que se muestra en la figura 16

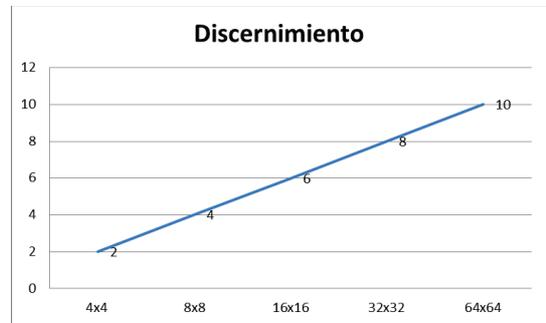


Fig. 14: marcadores seleccionados



Fig. 15: marcadores seleccionados

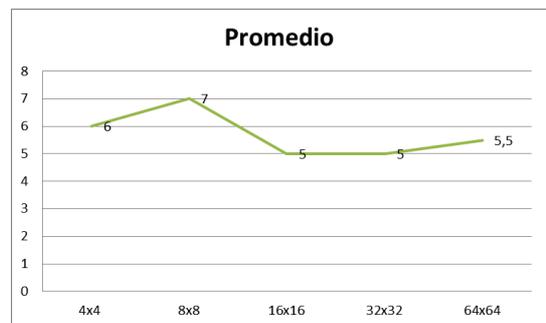


Fig. 16: marcadores seleccionados

### C. ANÁLISIS DE POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR

La aplicación necesita una máquina de cualquier sistema operativo que tenga un explorador de internet que tenga el plug-in instalado de Flash, este es un plug-in muy usado y es altamente probable que el explorador de cualquier máquina ya lo tenga, de hecho algunos de los exploradores de internet más usados ya vienen con este plug-in integrado, adicional a esto se necesita una cámara web y los marcadores, estos pueden ser impresos, dibujados o mostrados en un cualquier medio de salida de video, según se ajuste a las necesidades de los usuarios. La máquina debe poseer características superiores al promedio como una tarjeta de video que soporte el modelado en 3D y una memoria RAM superior a 2GB para un correcto desempeño

Las escuelas y colegios privados a nivel nacional poseen estos materiales para sus estudiantes, lo que hace posible la implementación de esta tecnología en estas instituciones, un impedimento de esta posible implementación sería la aceptación por parte de los docentes y la capacitación de los mismos.

Por otra parte la mayoría de escuelas y colegios públicos a nivel nacional cuentan con por lo menos una computadora destinada para la enseñanza, pero estas máquinas no suelen tener las características previamente descritas. A demás de que se debería esperar la apertura de los docentes a la utilización de las TICs para impartir su clase.

Para la tele-educación la aplicación es mucho más factible que dentro de una escuela pública o privada, ya que este tipo de educación utiliza todos los requerimientos para la aplicación per se

Superando estos obstáculos, la aplicación es de fácil distribución basta con colgarla en un servidor y que los usuarios entren al mismo para acceder a la aplicación, y es muy sencilla de usar ya que está diseñada para niños de entre 5 y 15 años.

## VI. DISCUSIÓN

### A. CONCLUSIONES

- Actualmente la tecnología permite utilizar AR para trabajar con un nuevo material didáctico por parte de los docentes, sus beneficios han sido demostrados en este proyecto, aunque la respuesta del promedio de los computadores utilizados en el Ecuador ante este tipo de aplicaciones es muy lenta, y los equipos que responden bien a las condiciones son costosos, por lo que resulta fundamental optimizar los recursos de la aplicación y diseñar modelos que se ajusten a las necesidades del docente, pero que cumplan un coste computacional bajo para el rendimiento de la aplicación. Con esta finalidad se vuelve necesarias pruebas previas para cada modelo y para cada marcador que se utilice en las aplicaciones.

### B. RECOMENDACIONES

- El uso de material didáctico es imprescindible en un aula de clase, ya que por este medios los estudiantes son capaces de retener más información de mejor manera, por lo que se aconseja recurrir a un docente con experiencia en el uso de las herramientas didácticas para desarrollar más aplicaciones.

### C. TRABAJOS FUTUROS

- La pronta migración de televisión analógica a televisión digital hace necesario el desarrollo de aplicaciones, uno de los objetivos que persiguen los gobiernos que implementan el estándar ISDB-Tb es generar aplicaciones educativas para ser distribuidas en masa, en esta línea, se propone mudar las librerías en Java o ActionScript a Ginga Java o a Ginga-NCL para continuar el desarrollo de aplicaciones ahora en Televisión Digital.

## REFERENCES

- [1] Ronald Azuma. A survey on augmented reality. "Teleoperators and Virtual Environments",
- [2] Gilberto Nágera Gutierrez, "Realidad Aumentada en Interfaces Hombre Máquina", Instituto Politécnico Nacional, México DF, 2009
- [3] H. Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99), San Francisco, USA, October 1999.
- [4] X. Basogain, M. Olabe, K. Espinosa, C. Rouèche, Realidad aumentada en la Educación: una tecnología emergente, Information and Communications Technology, ESIGELEC - Rouen, France Electrical and Computer Engineering, CBU (USA), Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU Bilbao, España.
- [5] Portal de la Realidad Aumentada. <http://www.augmented-reality.org/>
- [6] MIT Handheld Augmented Reality Simulations <http://education.mit.edu/ar/>
- [7] MathWorks, MATLAB® - The Language Of Technical Computing
- [8] Six degrees of freedom <http://www.6dof.com/>
- [9] I. Sutherland, 'A Head-Mounted Three Dimensional Display', Proceedings of Fall Joint Computer Conference, 1968, pp. 757-764.
- [10] P. Milgram and F. Kishino, 'Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays', IEICE Transactions on Information and Systems, 1994, pp. 1321-1329.
- [11] Rekimoto, J. (1996). Augmented Reality Using the 2D Matrix Code. In Proceedings of the Workshop on Interactive Systems and Software (WISS'96).
- [12] FLARToolKit [www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/en](http://www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/en)
- [13] ARTag <http://www.artag.net/>
- [14] FLARManager Online Resources <http://www.artoolworks.com/support/library/FLARManager>