

CIS1230TK05

**HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA EL APRENDIZAJE DEL BAJO ELÉCTRICO
USANDO LA REALIDAD AUMENTADA**

DIEGO OCHOA

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
2012**

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
I - DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO.....	3
1. OPORTUNIDAD, PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES	3
1.1 Descripción del contexto	3
1.2 Formulación del problema que se resolvió	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Impacto esperado	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
2.1 Visión global.....	5
2.3 Objetivo general.....	5
2.4 Fases metodológicas o conjunto de objetivos específicos.....	5
2.5 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica.....	6
II - MARCO TEÓRICO	9
1. MARCO CONTEXTUAL.....	9
2. MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.1 Visión computacional.....	10
2.2 Realidad virtual.....	10
2.3 Realidad aumentada.....	11
2.4 Educación virtual	11
III – DESARROLLO DEL TRABAJO	12
DESARROLLO DEL TRABAJO	12
<i>Nombramiento de la Herramienta.....</i>	<i>12</i>
<i>Preparación técnica y teórica, y selección de herramientas para el desarrollo del prototipo.</i>	<i>12</i>
<i>Documentación de los artefactos de software.....</i>	<i>15</i>
<i>Construcción de prototipos</i>	<i>19</i>
<i>Validación de los componentes del proyecto</i>	<i>34</i>
IV - RESULTADOS Y REFLEXIÓN.....	39
RESULTADOS	39
<i>Encuesta para medir la actitud respecto al uso de las herramientas de educación virtual</i>	<i>39</i>
<i>Con todo considerado, el uso de HEV en mis estudios es:.....</i>	<i>45</i>
<i>Conclusiones de la encuesta.....</i>	<i>46</i>
<i>Encuesta para medir la actitud respecto al uso de la herramienta ARB Learning Tool ..</i>	<i>47</i>
<i>Con todo considerado, predigo que un futuro, el uso del ARB en mis estudios será:</i>	<i>51</i>
<i>Conclusiones de esta encuesta</i>	<i>52</i>

V – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS53
1. CONCLUSIONES	53
2. RECOMENDACIONES	54
3. TRABAJOS FUTUROS.....	54
VI - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA56
1. REFERENCIAS.....	56
2. BIBLIOGRAFÍA.....	61
VII - ANEXOS64
ANEXO 1. POST-MORTEM.....	64
1. Metodología propuesta vs. Metodología realmente utilizada.	64
2. Actividades propuestas vs. Actividades realizadas.	64
3. Efectividad en la estimación de tiempos del proyecto.....	65
4. Costo estimado vs. Costo real del proyecto	65
5. Efectividad en la estimación y mitigación de los riesgos del proyecto.	66
ANEXO 2. ENTREGABLES	66
ANEXO 3. ARCHIVOS PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO	66

ABSTRACT

Building a software tool, which ease the process of electric bass learning, using the augmented reality. It requires the use of a series of techniques of image processing, threshold, morphology and blobs detection. Graphic rendering and MIDI audio were integrated to virtualize a music learning process. For the tool to be validated as a technological and teaching tool, TAM was used with the help of several aspiring (non-)musicians to prove how useful it is as a software tool.

RESUMEN

La investigación para este trabajo de grado se enfocó en buscar una solución mediante el análisis de imágenes a través de una cámara digital, la visualización de gráficos hechos por computador, la reproducción de audio digital y el análisis de datos. Estos elementos integrados tienen como fin construir una aplicación para guiar a un estudiante que desee entrenarse en las técnicas básicas para tocar el bajo eléctrico.

RESUMEN EJECUTIVO

En esta última década se han presentado nuevas propuestas para el entrenamiento de los usuarios que quieran emular la experiencia de tocar un instrumento musical al que no han tenido acceso antes. Sin embargo, este tipo de herramientas se limitan a simular, es decir, no pueden ser consideradas como herramientas de tipo didáctico para lograr mejorar las habilidades con dicho instrumento, otras herramientas para proveer algún tipo de enseñanza se limitan a ubicar a los usuarios dentro de un zona cuyo requerimiento es tener un nivel intermedio en el aprendizaje del instrumento.

También, las nuevas tecnologías que han llegado al consumo masivo, debido principalmente al uso de los teléfonos inteligentes, las tabletas y los computadores personales portátiles, han causado que los usuarios se familiaricen con nuevos métodos para proveerles información, como lo son la ludificación (*gamification*) y la realidad aumentada.

Para este proyecto, se decidió buscar una solución a la enseñanza pero aprovechando las nuevas tecnologías; en este caso, el desarrollo de una herramienta de software que funcione de forma interactiva y lúdica para el usuario, que le permita avanzar en el desarrollo de sus habilidades al momento de tocar el bajo eléctrico, por medio de la realidad aumentada cuya interface simplemente requiriera una cámara web, un bajo eléctrico y una entrada de sonido.

Se utilizaron herramientas de software libre para el proceso de análisis de imágenes y para el renderizado de gráficos. A fin de facilitar la detección de elementos, se optó por hacerlo mediante la detección de colores, en este caso el uso de marcadores verdes en los trastes del bajo y también en los dedos del usuario. También se utilizó el espacio de colores HSV, puesto que facilita el análisis de las imágenes respecto a los colores al tener propiedades más fáciles de manejar por separado, a diferencia del espacio RGB. Finalmente, se aplican dos filtros morfológicos, uno antes de aplicar el umbral para suavizar bordes, y otro sobre la imagen binaria para aumentar de tamaño los píxeles. Una vez se realiza esto, se utiliza una librería para encapsular todos los píxeles que están en blanco en un blob, y cada blob cuenta con diferentes propiedades para determinar sus posiciones en el espacio.

Con los objetos reales detectados, el siguiente paso es dibujarlos para tener una mejor visualización y poder detectar la colisión entre ellos. La colisión se basa en la nota que pide el programa que el usuario debe tocar, situando su dedo sobre el traste correspondiente; si la colisión es exitosa, se envía la información a un programa que corre en paralelo y que se encarga de generar el sonido respectivo a la nota..

Para realizar la parte de validación, gracias a la asesoría del profesor Rafael González, se decidió utilizar el modelo de aceptación tecnológica (TAM). Para ello, se construyó una encuesta a partir de preguntas genéricas de otros proyectos que han sido validados con el TAM, con 6 preguntas para utilidad percibida y otras 6 para facilidad de uso, una para uso de las herramientas virtuales y otra para el uso de la herramienta actual. Luego estas encuestas fueron repartidas entre estudiantes que cumplieran con las características de los usuarios.

En el transcurso del desarrollo del proyecto se presentó un acontecimiento que afectó fuertemente los resultados finales del proyecto: la muestra que se tenía inicialmente que perfilaba a los músicos profesionales no se manifestó para brindar su apoyo, incluso después de que se les contactara para realizar la prueba. Debido a esto, pasó un número significativo de días en el que no hubo ningún tipo de desarrollo, más allá de la documentación, y solo se realizaron leves cambios al prototipo. Para mitigar este imprevisto, se decidió acudir a la ayuda del director del trabajo de grado, quien contactó a otra muestra distinta, aunque significativamente más reducida que la original, quienes brindaron su apoyo sin problema.

Al finalizar las encuestas, se observó que se obtuvo una percepción positiva de la herramienta por parte de los encuestados, incluyendo a uno de los músicos que se mostraba reacio a utilizar cualquier tipo de tecnología que se encontrara “de moda”. Los encuestados aprobaron su futura implementación como una posible herramienta de educación; sin embargo, quizás lo que causó que se revisara la visión del proyecto fue el entusiasmo que mostraron al visualizar que este tipo de tecnología pudiera ser usada como mecanismo para la producción musical, como nuevos tipos de sonidos generados que se pudieran controlar de una forma distinta a la manera análoga o manual que se ha utilizado desde siempre, o para la puesta en escena de presentaciones artísticas (danza o teatro) que mezclaran estos elementos para resaltar con elementos gráficos virtuales y así facilitar la inmersión del público con los artistas.

Se pudo concluir que los objetivos del proyecto se cumplieron. Se demostró que la integración de este tipo de tecnologías sí puede llegar a tener un lugar dentro la comunidad educativa y servir como herramienta para facilitar el aprendizaje de los alumnos; y además, que se puede incurrir en otras áreas que se encontraban fuera del enfoque de la visión del proyecto desde un principio para, de la misma forma, poder generar experiencias y sensaciones nuevas entre y con los involucrados.

INTRODUCCIÓN

La tecnología actual ha dado como consecuencia el surgimiento de nuevos métodos que integran la educación con el entrenamiento lúdico. El presente documento tiene como fin presentar un proceso detallado que se llevó a cabo para comprobar la utilidad que puede tener una herramienta de software que toma ventaja de la realidad aumentada con el fin de ser aplicada en el área de la pedagogía musical de un bajo eléctrico.

Existen grandes cantidades de aplicaciones que hacen uso de las técnicas de análisis de imágenes por medio de computador para ser usado en aplicaciones de tipo investigativo, pero recientemente, como es el caso del *Kinect* [1], se han comenzado a usar con el fin de ser usadas para crear experiencias divertidas entre los usuarios por medio de juegos de video. Inclusive, también se han generado numerosas aplicaciones encontradas en dispositivos virtuales portátiles que ayudan a optimizar incluso la tarea más mundana o trivial usando técnicas similares conjuntamente a otros procesos, como de posicionamiento geográfico [2].

Por medio del uso de herramientas de software libre de procesamiento de imágenes, sonido, gráficos, análisis de ondas, y aplicando métodos usuales de detección de objetos del mundo real dentro de una imagen, se desarrolló un prototipo el cual aplico los conceptos básicos detrás de la enseñanza de un bajo eléctrico enfocado a lograr hacerlo de una manera interactiva. El prototipo pretende dar un paso hacia una técnica innovadora en la enseñanza, no solo de música, pero cualquier escuela aprovechando las nuevas tecnologías al alcance.

Para poder pre visualizar sus utilidades como un herramienta de software, se plantearon una seria de encuestas que aplicaron a una muestra específica, también aceptando opiniones de la misma, de la cual surgieron nuevos caminos para la continuación de este proyecto con enfoques más amplios y ambiciosos.

En el presente documento se describen con todas las causas que llevaron a la decisión de iniciar con la investigación, así mismo con sus metodologías que se llevaron a cabo y el proceso que se tomó para poder construir un sistema que fuese suficiente para medir las capacidades de la tecnología de la realidad aumentada respecto a la enseñanza y producción de los talentos musicales.

I - DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

1. Oportunidad, Problemática y Antecedentes

1.1 Descripción del contexto

En la actualidad, existen diversas maneras en que los medios interactivos, en su mayoría videojuegos, intentan simular la manera en que un individuo puede experimentar la sensación de tocar un instrumento musical a través de distintos periféricos [1] que pueden ser conectados a un hardware, como consola de videojuego o computador, y por medio de un software que se visualiza en una pantalla, para ofrecer algún tipo de actividad que intenta emular la posición del instrumentista en una pista de audio.

El problema recaía en que estos medios resultan ineficaces para aquel interesado en un entrenamiento formal y enfocado al progreso del aprendizaje, en cuanto al desarrollo de sus habilidades respecto a un instrumento específico. Muchos de estos medios utilizan periféricos que se restringen a imitar de forma superficial los instrumentos que buscan promover, puesto que se limitan a copiar sus características físicas [4] [5].

También se conocen otros medios que sí permiten a los usuarios utilizar sus instrumentos reales con todas sus características y posibilidades intactas; la diferencia está en que estas aplicaciones sí tienen un enfoque más pedagógico y están diseñadas para orientar al usuario a través de diferentes niveles de dificultad, esperando mejorar sus habilidades. Al final, el juego intenta emular a un profesor que está presente con su instrumento para que el alumno se guíe por este; sin embargo, esto lleva a los mismos problemas de tener a un profesor real o guiarse de videos educativos, y consiste en la falta de pertenencia que puede tener un usuario frente su instrumento, que el estudiante está obligado a mirar otro plano diferente para después adaptarlo al suyo propio [2].

Hoy en día hay un continuo crecimiento de las aplicaciones móviles, principalmente en teléfonos inteligentes, en los que se perciben usos de herramientas que utilizan mecanismos relacionados con la realidad aumentada de diversas maneras, incluyendo GPS, juegos, aplicaciones de dibujo e incluso negocios [2]. Esto ayuda a que las personas tengan una noción indi-

recta de la realidad aumentada, es decir, no conocen el concepto por su nombre pero sí por su aplicación en herramientas que les son familiares; incluso por otros medios, como las películas de ciencia ficción, se pueden observar en un futuro este tipo de aplicaciones.

1.2 Formulación del problema que se resolvió

¿Cómo demostrar que una herramienta tecnológica de software puede facilitar la enseñanza lúdica de una técnica para el aprendizaje básico del bajo eléctrico?

1.3 Justificación

Un gran porcentaje de la juventud se encuentra muy asociada a los juegos de video también presentes en la cultura popular, y aunque las nociones acerca de los beneficios o perjuicios relacionados con ellos se pueden observar muy divididas, es imposible negar las capacidades didácticas que poseen los juegos y las múltiples aplicaciones que se les han dado como herramientas pedagógicas [3] [4] [5] [6].

Una herramienta que tuviera la habilidad de facilitar al estudiante una perspectiva diferente a las ofrecidas por los métodos tradicionales puede llegar a ofrecerle una experiencia donde la teoría, el entrenamiento y la práctica tengan una alta cohesión, y hacerlo de manera que el estudiante se sienta vinculado a los juegos que al estudio. En este caso, la realidad aumentada cumple con los requisitos que se requieren para que la herramienta tenga esas cualidades y capacidades [7] [8]. La realidad aumentada también aplica fuertemente componentes gráficos, es decir que la percepción del usuario, como dice el nombre, es aumentada al grado que tiene la ayuda de componentes visuales sobre los objetos reales que intenta ver por medio de una pantalla; esto se hace con el propósito de tener una retroalimentación rápida de lo que el sistema quiere mostrar al usuario respecto a la situación en que se encuentra [9] [10]. Es una herramienta que logra conectar elementos intuitivos, gráficos, analíticos y lúdicos, para que el usuario pueda complementar sus conocimientos teóricos con la práctica real [11].

Y acorde a la misión de la Pontificia Universidad Javeriana, este proyecto hace énfasis en la problemática de: “La deficiencia y lentitud en el desarrollo científico y tecnológico”, la herramienta posee características que no se encuentran en otra disponible y se considera un paso para la integración entre la pedagogía musical y la tecnología enfocada a ella.

1.4 Impacto esperado

A diferentes plazos, el impacto se puede observar de la siguiente manera:

- Corto plazo: El estudiante de bajo eléctrico estará motivado para continuar con estudios avanzados del instrumento y también para que continúe usando la herramienta a lo largo de su proceso de enseñanza.
- Mediano plazo: El sistema será la base para después poder construir una capa totalmente enfocada a la pedagogía del instrumento, sin dejar de lado el componente lúdico que lo caracteriza.
- Largo plazo: Las instituciones educativas podrán ver las facultades benéficas de la herramienta en su área de experticia y así promover su uso dentro de sus instalaciones o recomendarla para sus estudiantes.

2. Descripción del Proyecto

2.1 Visión global

Por medio del análisis de imágenes a través de una cámara web y el uso de gráficos con el fin de cumplir con las características de la realidad aumentada, se desarrolló un prototipo que muestra las funcionalidades principales que puede tener una herramienta de educación virtual para la enseñanza del bajo eléctrico. Para validar el prototipo, se utilizó el modelo de TAM [12] a fin de respaldar su valor como herramienta tecnológica y su potencial como herramienta pedagógica.

2.3 Objetivo general

Desarrollar un software de realidad aumentada de carácter lúdico para ser aplicado durante las fases iniciales de la enseñanza musical del bajo eléctrico.

2.4 Fases metodológicas o conjunto de objetivos específicos

2.4.1 Fase de recolección de datos

Objetivo: Analizar diferentes estrategias para la captura, análisis y visualización de las imágenes y componentes.

En este objetivo se pretende identificar las técnicas más efectivas para la captura y análisis de las imágenes que son utilizadas en proyectos similares, para así poder modificar la presentación física del bajo a fin de facilitar el procedimiento. De la misma forma, identificar la forma más efectiva para mostrar las ayudas visuales en la pantalla.

2.4.2 Fase de desarrollo

Objetivo: Realizar la construcción del prototipo.

En este objetivo se pretende comenzar con todos los procesos de la construcción de un software, incluyendo toda la documentación pertinente hasta culminar en el desarrollo de un prototipo.

2.4.3 Fase de validación

Objetivo: Validar el prototipo.

Para lo relacionado con la estructura del sistema, se validarán la arquitectura utilizada y su posible utilidad como herramienta de software. Para validar el prototipo, se utilizarán testigos a quienes se les permitirá usarlo para que interactúen con él por un tiempo determinado. El perfil del testigo es:

- Ser músico avanzado (educación superior) y estar especializado en el bajo eléctrico, sin importar el género musical.
- Ser músico aficionado (sin educación superior) y estar dedicado al bajo eléctrico o a la guitarra eléctrica, sin importar el género musical.

2.5 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica

2.5.1 Fase de Recolección de Datos.

Para la recolección de datos, se decidió realizar una investigación exhaustiva que, en un sus comienzos, buscaría todo lo relacionado con los siguientes temas:

- Herramientas para la captura de una secuencia de imágenes usando una cámara web.
- Técnicas para la detección de patrones dentro de una imagen.
- Técnicas para el seguimiento del posicionamiento de un mismo objeto dentro de una imagen.

- Herramientas para graficar figuras de manera dinámica sobre una secuencia de imágenes capturada por una cámara web.
- Técnicas para minimizar el margen de error entre la detección de la colisión de objetos (posición).
- Metodologías usadas para la validación de un prototipo funcional o semi-funcional.
- Metodologías usadas para la validación de herramientas de tecnologías.
- Metodologías usadas para la validación de herramientas de educación.

Los recursos usados para lograr la investigación de cada uno de los anteriores tópicos fueron los siguientes:

- Herramientas de multimedia en línea.
- Motores de búsqueda general.
- Motores de búsqueda específica del campo de la ingeniería.
- Espacios privados o públicos de consulta general.
- Asesoría de expertos.

2.5.2 Método que se propuso para satisfacer la fase de desarrollo.

Para el desarrollo, se tomó el modelo/metodología SCRUM (iterativo y solapado).

Para los artefactos a entregar, se realizaron:

- Diagrama de Componentes.
- Diagrama de Despliegue.
- Diagrama de Clases¹.
- Documentación del Código².

¹ En este documento en la sección de III-DESARROLLO DEL TRABAJO puede encontrar una diagrama de clases simplificado (las clases no tiene anotados los atributos ni métodos), pero en los anexos puede encontrar el diagrama de clases completo.

² Incluido en Anexos. Generado con *Enterprise Architect*.

- Manual de Usuario³.

2.5.3 Método que se propuso para satisfacer la fase de validación.

La validación se divide en tres partes: validar arquitectura, validar como herramienta de software y validar como herramienta de educación.

- Validar como herramienta de software: Se utilizó la primera versión del modelo de aceptación de tecnología (TAM).
- Validar como herramienta de educación: Se utilizó la rúbrica de ROI⁴, pero no se desarrolló ningún estudio. En su lugar, se dejaron las bases y características que debería cumplir la herramienta para funcionar como una herramienta de educación.

³ Incluido en Anexos.

⁴ La rúbrica se incluirá en los anexos. Son una serie de archivos PDF tomados de la página web del Universidad Estatal de California (ingles).

II - MARCO TEÓRICO

1. Marco Contextual

La situación de cómo los usuarios interactúan por medio de dispositivos electrónicos y aplicaciones virtuales ha cambiado considerablemente, sobre todo por el auge del consumo de nuevos hardware, como lo son los teléfonos inteligentes y las tabletas, ahora también los computadores personales cuentan con un mayor poder de procesamiento que pueden realizar tareas muchos más complejas (esto incluye a las consolas de juegos de video) y ofrecer una mayor inmersión en la interacción con ellos [1] [18] [19]; así mismo, el crecimiento del internet ha dado nuevos rumbos a las diferentes industrias o escuelas al ofrecer nuevas posibilidades de éxito.

Dentro de ese contexto, se encuentran las herramientas de educación virtual, de las cuales se han desarrollado varias cantidades de aplicaciones que se enfocan en facilitar a los usuarios un nuevo ambiente de estudio más controlado, para que puedan mejorar su desempeño académico o laboral. Sin embargo, al estar en un ambiente cerrado y limitado a los interfaces tradicionales para interactuar con un computador (como lo son el teclado y el ratón), estas herramientas hacen poco énfasis en el estudio práctico de las áreas que dicen trabajar. Esto se vio reflejado en dos cambios revolucionarios: nuevos periféricos de juego y el uso de dispositivos de sensor para detectar movimientos [1] [18] [19].

Los nuevos periféricos se ejemplifican de la mejor manera con el juego de Rock Band [14], donde ellos simulan toda la experiencia de tocar los instrumentos de guitarra eléctrica, bajo eléctrico, batería, teclado y voz. Esto ofrece una nueva experiencia al momento de interactuar con un juego de video, alejándose de los comunes controles de mando que suelen saturar a esta industria. Por otro lado, los sensores de movimiento, como lo son los controles del Wii [19] y el *Kinect* para Xbox360 [1], ofreciendo nuevas posibilidades a los desarrolladores de videojuegos para experimentar con nuevas tecnologías y con nuevos conceptos más abstractos, como la realidad virtual o la realidad aumentada.

Por último falta incluir las aplicaciones que intentan combinar los dos temas anteriores: educación y juegos virtuales. Se han tratado investigaciones relacionadas en torno a cómo el

aprendizaje puede ser suministrado por un medio diferente a los que siempre se han usado (profesores, libros, tareas y exámenes) [11] [3], como a través de los juegos, que cuales buscan ser complementarios a la educación tradicional.

2. Marco conceptual

2.1 Visión computacional

La visión computacional es un campo de la computación que se enfoca en la adquisición, procesamiento, análisis y entendimiento de las imágenes. Como principal objetivo, la visión computacional busca tomar información de alta dimensión del mundo real para producir información numérica o simbólica para la toma de decisiones, de lo cual se puede decir que la visión computacional intenta imitar la visión humana en términos de dichos parámetros. Este concepto de la visión computacional hace que pueda trabajarse con otros campos de la computación que comparten características similares, como lo son la visión artificial (enfocado a que la máquina sea quien tome las decisiones, con algoritmos diseñados específicamente para ese hardware) o el procesamiento de imágenes (enfocado a realizar transformaciones en las imágenes, dejando cualquier pos-procesamiento de análisis a los usuarios). En área de aplicación se destaca: la inteligencia artificial, la robótica, el procesamiento de señales, el aprendizaje de máquina, la neurobiología y las matemáticas (estadística, geometría, optimización, etc.) [20]

2.2 Realidad virtual

La realidad virtual aplica a sistemas completos que son capaces de simular la presencia física en un espacio del mundo real o en lugares imaginarios. Esto lo logran a través de diferentes dispositivos que afectan los sentidos sensoriales del usuario: visión, olfato, tacto, oído y gusto. Este campo se aplica en diferentes áreas, principalmente en oficios donde se corren altos riesgos en el ambiente natural, como los son los pilotos de combate, astronautas, médicos cirujanos, pero también se han llegado a utilizar para el tratamiento de trastornos físicos o psicológicos en diferentes pacientes. Los conceptos que se identifican en la realidad aumentada son: simulación, interacción, artificialidad, inmersión, telepresencia, inmersión de cuerpo completo y comunicación en red [21].

2.3 Realidad aumentada

La realidad aumentada es una vista en vivo, directa o indirecta, de un mundo físico real cuyos elementos son aumentados en una entrada sensorial generada por computador, tales como sonidos, video o gráficos. El objetivo de la realidad aumentada es optimizar la percepción que el usuario tiene del mundo que lo rodea al proveerle información que es imposible de obtener sin el uso de algún sistema de cómputo (coordenadas de GPS, información histórica, descripciones geométricas, etc.). De las áreas que aplican la realidad aumentada están: medicina, navegación, industria del diseño, marketing, militar y de emergencia, arte, arquitectura, arqueología, turismo, entrenamiento y comercio, entre otras [21].

2.4 Educación virtual

Se refiere a una instrucción en un ambiente de aprendizaje donde el estudiante y el profesor están separados por tiempo, espacio o ambos, y el profesor provee el contenido del curso por medio del manejo de aplicaciones, recursos multimedia, internet o videoconferencias, y los estudiantes se comunican con el profesor por las mismas vías [23].

III – DESARROLLO DEL TRABAJO

Desarrollo del trabajo

Nombramiento de la Herramienta

El nombre de la herramienta, y como se referirá de este punto en adelante en caso de usarse su acrónimo.

Augmented Reality Bass Learning Tool

Acrónimos: *ARB Learning Tool* o *ARBLETool*

Preparación técnica y teórica, y selección de herramientas para el desarrollo del prototipo.

Antes de comenzar con el desarrollo del prototipo era necesario especificar cuáles serían las herramientas que mejor se adaptaban para a este proceso. En el transcurso de la carrera se cursó la clase de “Visión artificial”, donde se trabajó con dos librerías: *OpenCV* [15] e *ITK*, pero como se requiere el uso de una cámara digital, se decidió optar por *OpenCV*. Sin embargo, fue necesario realizar un pequeño re-aprendizaje por medio de pequeñas pruebas, además de utilizar la nueva interfaz de *C++*, pues previamente se utilizaba la interfaz en *C*.

A continuación, se inició una búsqueda en diferentes fuentes de información para averiguar cuáles son los métodos más eficaces para detectar los objetos que se requieren dentro de una imagen. Para ello, se contemplaron las siguientes variables que posiblemente surgirían a medida que se desarrollara el prototipo:

- La posición del estudiante en el mundo.
- La posición del bajo en el mundo.
- La posición del bajo respecto al estudiante.
- La posición de todos los componentes del bajo (mástil, traste, cuerdas) en relación con el bajo.
- La posición de los dedos de la mano que utilice el estudiante para presionar las cuerdas del bajo (generalmente, izquierda si es diestro, derecha si es zurdo).

- La presencia de marcadores en el mundo (forma, colores y patrones gráficos).
- La iluminación (brillo y contraste).

Para mayor facilidad y agilidad, se optó por el uso de marcadores para detectar la posición del bajo y de los dedos del estudiante, y luego de una reunión con el profesor Leonardo Flórez, se decidió utilizar los marcadores de color verde (más tarde también se vería que este color es usado con alta frecuencia en la industria del cine y la televisión en el momento de superponer efectos especiales sobre una escena) para detectar la posición de los trastes: 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17 y 19 (se tomaron estos trastes porque son los mismos que están marcados, por lo general con un pequeño círculo blanco, en el diapasón de los bajos para guiar al instrumentista).

Como los trastes marcados tienden hacia una figura rectangular, ahora era necesario buscar alguna técnica que pudiese detectar este tipo de figuras dentro de una imagen. Para ello, se utilizó una librería llamada *cvBlob* [16]. El primer paso es buscar todos los píxeles, dentro de una imagen, que satisfagan alguna precondición, en este caso la del color verde. Una vez detectados estos píxeles, se realiza una imagen binaria (negro y blanco), siendo blanco los píxeles que cumplen la condición y negro los que no; luego la librería se encarga de encapsular todos los píxeles blancos dentro un área rectangular (minimizada a la distancia del píxel más alejado del centro de gravedad). Esta librería registra todas las áreas que cumplan las condiciones y se guardan en un vector del mismo tipo. Cada Blob cuenta con numerosas propiedades que resultaron muy útiles en el momento del desarrollo del prototipo, como la posición cartesiana de cada blob y su área total, entre otros.

Con los Blobs en línea, ahora se requería que los objetos del mundo real interactuaran con objetos virtuales. Para ello, se utilizaron las posiciones cartesianas de los blobs (que representaban los objetos reales) y se compararon con la distancia que tenían de los demás objetos virtuales; cuando la distancia se acercaba a la mínima establecida, los objetos virtuales reaccionaban de algún modo (primero se tenía un menú de prueba, donde los botones cambiaban a diferentes colores cuando se detectaba alguna colisión).

Una vez establecidas las técnicas para la detección y análisis de las imágenes, ahora era necesario averiguar cuál sería la mejor forma de dibujar los componentes de realidad aumentada que se mostraran en la pantalla.

Para crear los componentes gráficos más complejos, se ha optado por usar *OpenGL* [17] (*OpenCV* también cuenta con métodos para dibujar, pero son poco flexibles y no permiten realizar transformaciones), porque se tiene experiencia previa con la librería, y su calidad, flexibilidad, robustez y eficiencia por usar la tarjeta aceleradora gráfica.

Los componentes que se generarían como gráficos en la pantalla fueron los siguientes:

- Los trastes del bajo.
- Las cuerdas del bajo.
- El diapasón es totalmente transparente.
- Las notas en su representación alfabética.
- El pentagrama, la clave de sol y las notas musicales en su notación tradicional.

Para dibujar los componentes del bajo virtual sobre el bajo real, se vale de la posición cartesiana de los blobs, por lo que se pueden ubicar correctamente al menos 8 trastes, a los restantes se les pueden predecir su posición según el tamaño real del bajo y el tamaño individual de cada traste.

Después de haber seleccionado la librería gráfica, era necesario definir la mejor forma para utilizar los componentes de audio, es decir: producir y capturar sonidos.

Para producir los sonidos del bajo desde el computador, se decidió utilizar el API *JavaSound* para *JAVA*, porque cuenta con un banco de data de sonidos que tiene varias muestras para bajo eléctrico y, además, porque *JAVA* es independiente del sistema operativo. Este programa utiliza la notación MIDI para determinar la nota (o frecuencia de onda) que se va a producir. Con el fin de integrar el programa de análisis de imágenes y de visualización gráfica, escritos en *C++*, con el de reproducción de sonidos, se optó por enviar, desde la aplicación de *C++*, un flujo de datos por medio de un *socket*, conteniendo la nota, la octava y la duración, el cual, al ser recibido por la aplicación en *JAVA*, produciría el sonido especificado. Igualmente,

en el momento de tocar otra nota que interrumpa la anterior, se envía otro mensaje con el mismo cuerpo para detener el sonido. La comunicación es unidireccional, por lo que el código en *JAVA* no retorna ningún mensaje.

Documentación de los artefactos de software

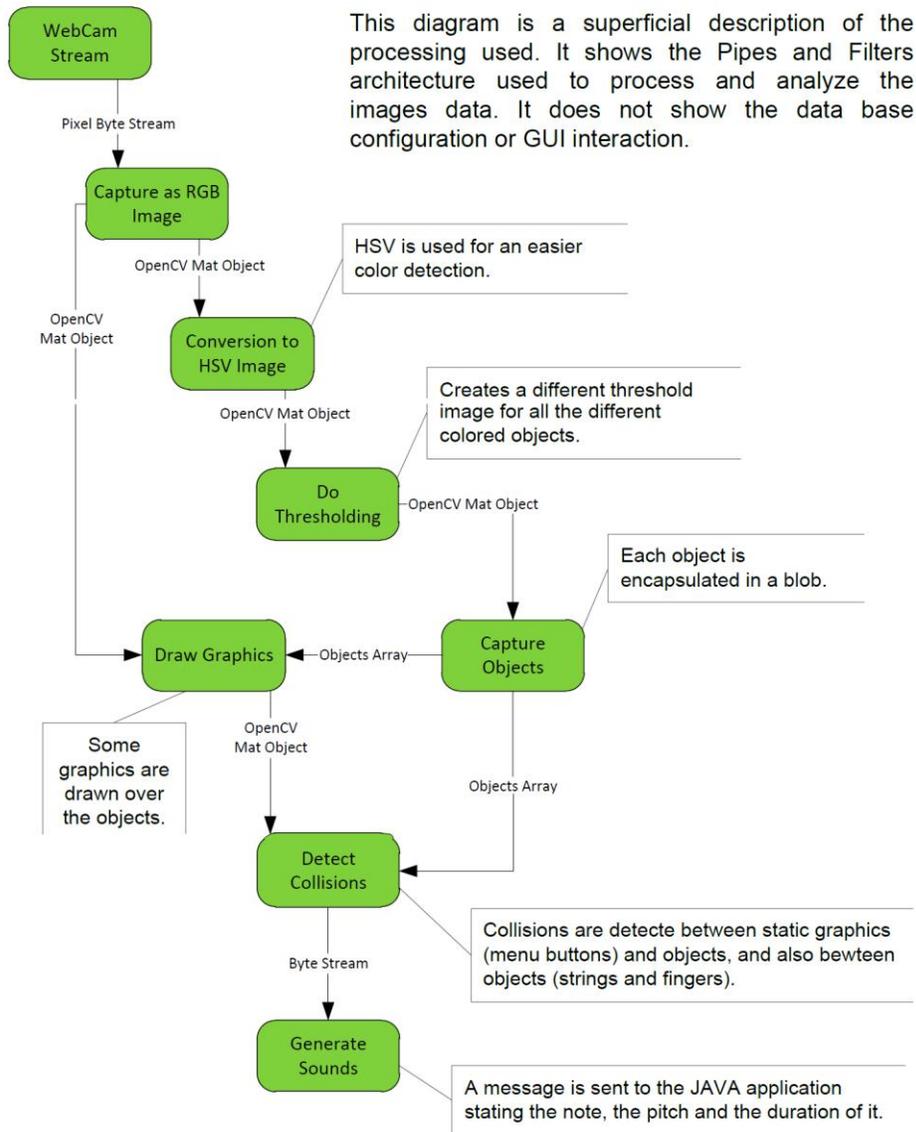
Descripción

Una vez definidas las tecnologías que se van a utilizar, se comenzó con la construcción de los artefactos de software. Se desarrollaron los diagramas de despliegue, componentes y clases (en ese orden). En primer lugar, se definió un patrón de arquitectura para desarrollar el proyecto; analizando el problema, se pudo observar que las imágenes se transformaban a través de diferentes procesos o se extraían datos muy específicos, por lo que un patrón decorativo como el de tuberías y filtros era el que mejor representaba la solución al problema, y además permitía visualizar los procesos que requieren ejecutarse en paralelo.

El siguientes **Diagrama 1**, hace referencia a la arquitectura que fue usada para el análisis de las imágenes.

Diagrama 1. Diagrama de Bloques del Procesamiento de las Imágenes

ARBLETool Pipes & Filters



El diagrama de despliegue en un momento no se consideró necesario, ya que antes solo estaba la cámara web, el computador donde se analizan las imágenes y la base de datos, pero

cuando se comenzó a investigar por las tecnologías para la producción y análisis de audio, se le otorgó prioridad al diagrama, donde ya se pudieron ver incluidos, además de los nodos mencionados anteriormente, el micrófono, la máquina donde se ejecuta al producción de sonido y la máquina donde se ejecuta el análisis de la onda de sonido.

El diagrama de componentes es igualmente sencillo y solo muestra la relación que existe dentro de los componentes de análisis de imágenes, de audio, de producción de audio y la base de datos.

Para el diagrama de clases, se tomó en cuenta la arquitectura de Tuberías y Filtros para poder realizar las relaciones ideales entre las clases. Se elaboraron dos diagramas de clase, uno para la aplicación de análisis de imágenes, escrito en C++, y otro para la aplicación de producción de sonidos, escrito en JAVA.

Imágenes

Diagrama 2. Diagrama de Despliegue

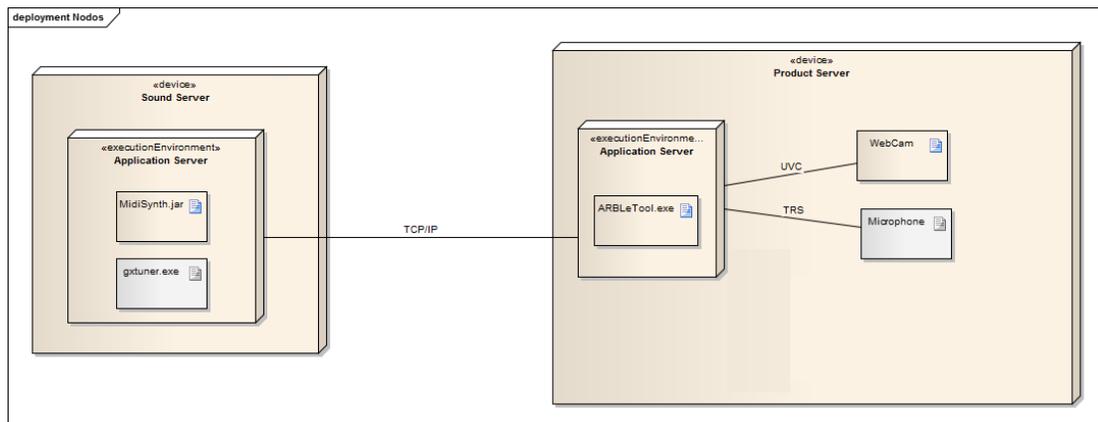
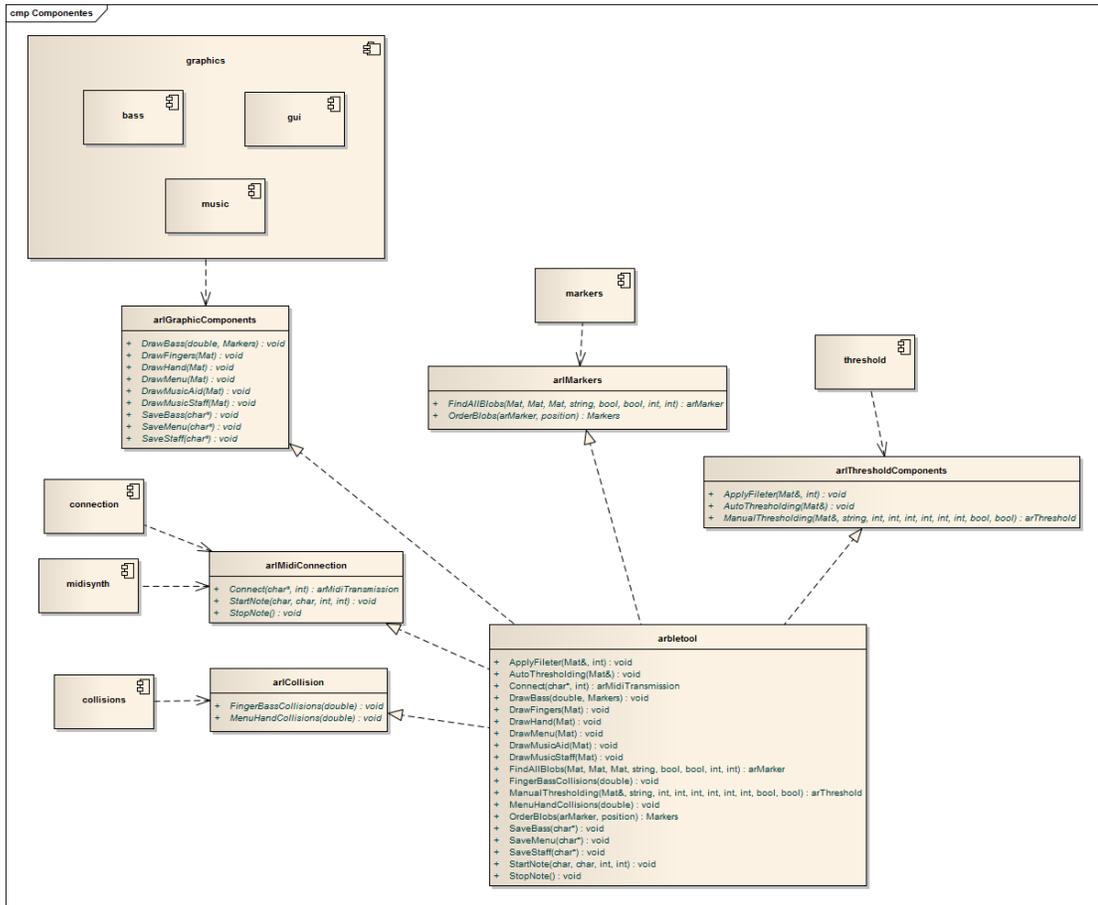


Diagrama 3. Diagrama de Componentes



muestra una modificación del ejemplo de *Squares* que trae el *OpenCV*, modificado para buscar cuadrados en un flujo de imágenes en lugar de una sola imagen estática.



Figura 1.

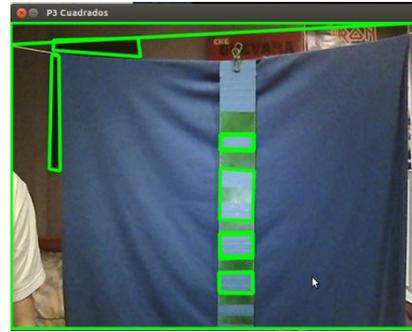


Figura 2.

Prototipos P4 *cvBlob* y P5 *cvBlobsLib*

Durante la investigación para nuevas estrategias de reconocimiento de objetos de manera ágil, se llega al concepto del *Blob*, el cual podría resultar muy efectivo ya que maneja pocas variables y las transformaciones matemáticas que tendrían que hacer son rápidas. A partir de eso, se encontraron dos librerías, una desarrollada por el mismo equipo de *OpenCV*, *cvBlobsLib* [20], y otra librería, también de código abierto, llamada *cvBlob*.

Se decidió por crear un prototipo para cada librería y poder mirar la eficiencia de cada uno analizando el mismo flujo de imágenes. El primer prototipo se hizo para la librería de *cvBlob*: se enviaron imágenes de una guitarra eléctrica que cuenta con trastes más pequeños que las del bajo, y pudo detectar los contornos de las guitarras y de algunos trastes. Claro que como no se realizó ningún tipo de pre-procesamiento, el resultado contenía mucho ruido, aunque el ruido constaba del encapsulamiento de todos los elementos que compartían características similares, lo cual también demuestra la eficacia de la librería.

Para *cvBlobsLib*, se construyó su propio prototipo, pero este nunca se ejecutó de manera efectiva porque presentó problemas de encadenamiento, y al solucionarlos, presentaba conflictos con los objetos de imagen de *OpenCV* que no se pudieron resolver. Este problema se unió a otros aspectos, como el hecho de que en el foro del Wiki de *cvBlob* la mencionan como la

mejor librería entre las dos, pues cuenta con más funcionalidades y también porque *cvBlob* aún está siendo trabajada y depurada por su autor, a diferencia de *cvBobsLib* cuya última actualización fue en diciembre del 2011. En la figura 3 se muestra un ejemplo del uso de la librería *cvBlob* en acción. Se puede ver cómo aplica diferentes coloraciones a las distintas agrupaciones de píxeles que encuentra.

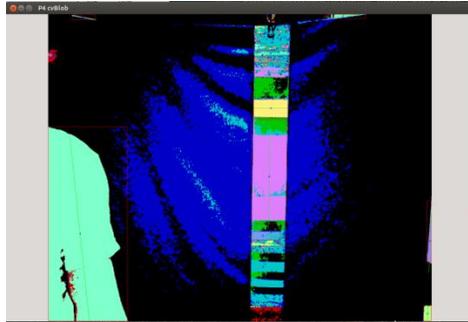


Figura 3.

Prototipo P6 Red Tracking

Este prototipo nace a partir de un ejemplo de la sección de *FAQs* del Wiki de *cvBlob*, donde el autor muestra cómo se puede segmentar la imagen para detectar objetos que se encuentren dentro de un rango de colores que se aproximan al color rojo. Con este rango se creaba una imagen binaria, donde negro son los píxeles cuyo color se encuentra fuera del rango y blanco son los píxeles cuyo color se encuentra dentro del rango. Con esa imagen, la librería se encarga de encapsular los píxeles y encontrar y separar todos los blobs. En la Figura 4 se muestra el uso de *cvBlob* para detectar elementos de color rojo.

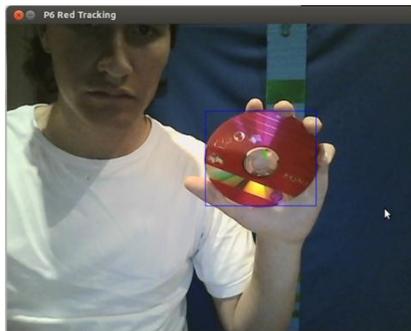


Figura 4.

De este prototipo se realizaron tres observaciones:

- El acceso a los valores de los píxeles se hacía por un proceso que el autor denominaba como “muy lento”, ya que usaba una función que accedía a todos los atributos del píxel, y no directamente al valor del color de dicho píxel, por lo que sugiere que se utilice un método de acceso directo.
- El *cvBlob* utiliza la interfaz de *OpenCV 2.0*, la cual está en *C*, pero desde la *2.1* ya está la de *C++*, por lo que al usar los objetos de imagen de la última versión y transformarlos en objetos de la versión *2.0*, causa un desbordamiento de memoria.
- El espacio de colores usado para este prototipo es de *RGB*, pero según una investigación, y confirmado tras una reunión con Leonardo Flórez, el espacio que mejor se sirve para este tipo de análisis es el de *HSV*, donde las características de matiz, saturación y brillo están en canales independientes.

Prototipo P7 Pointer

Este fue un pequeño prototipo que se elaboró con el fin de averiguar cómo utilizar correctamente los apuntadores y tener acceso directo a los valores de los píxeles, como se describió en el prototipo anterior. El caso de prueba fue crear una imagen umbralizada usando únicamente los apuntadores.

Prototipo P8 Colors

Este prototipo es más una extensión del prototipo anterior para poder analizar el sustituto del bajo. El resultado fue de dos imágenes binarias a partir de la umbralización, usando acceso directo a los píxeles, de los colores verde y rojo. Una función adicional fue la de calcular, con funciones nativas de *OpenCV*, el momento de masa de ambos umbrales y dibujar un punto con el color correspondiente en el centro de gravedad del conjunto de píxeles. En la Figura 5 se muestra el uso de métodos nativos del *OpenCV* para detectar objetos de color rojo y azul. El punto se ubica en el centro de gravedad del total de píxeles de un color. En la Figura 6 se muestra una imagen binaria resultante del umbral usado para detectar objetos de color rojo (izquierda) y de color azul (derecha).

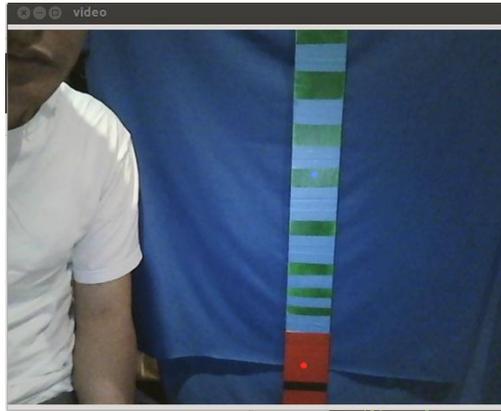


Figura 5.

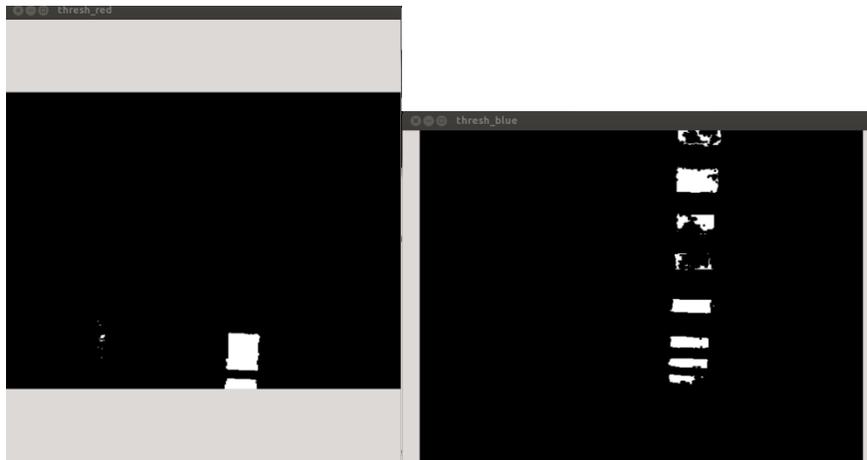


Figura 6.

Prototipo P9 Qt

Este prototipo fue el primer intento para integrar el código de *OpenCV*, con el framework de *Qt*, pero por problemas de configuración y de encadenamiento.

Prototipo P10 Color Stripes

En este punto fue el primer intento de dibujo (con las funciones de dibujar de *OpenCV*, no *OpenGL*), utilizando la posición de los blobs como puntos de interés para dibujar. El caso de prueba era dibujar una línea a través de la lista de blobs.

La observación principal que se dio de este prototipo fue poca flexibilidad de los métodos para dibujar que tiene la librería de *OpenCV*, y dio más apoyo por decidirse en integrar los métodos de dibujo de *OpenGL*. En la Figura 7 se muestra el uso de las propiedades de los blobs de la librería *cvBlob*, en este caso el centroide de cada blob que encuentra.

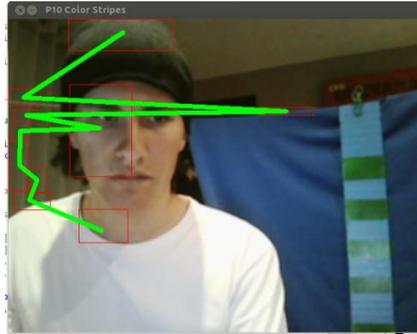


Figura 7.

Prototipo P11 Colors + Blobs

Este prototipo lo que hizo fue básicamente organizar el prototipo P10, de modo que detectara los blobs del sustituto del bajo y trazara una línea recta a través de todos los centroides de los blobs. Para asegurar una mejor detección, se buscó que la línea se dibujara únicamente cuando el ángulo de diferencia entre un blob y los demás fuera minimizado. En la Figura 8 se muestra un ejemplo especificado usando el sustituto del bajo, detectando únicamente los “trastes” verdes y trazando una línea verde cuando se encuentra en una posición recta. En la Figura 9 se muestra una imagen binaria resultante del umbral usado para detectar objetos de color verde. Y en la Figura 10 se muestra una imagen resultante de la transformación de espacio RGB a HSV.

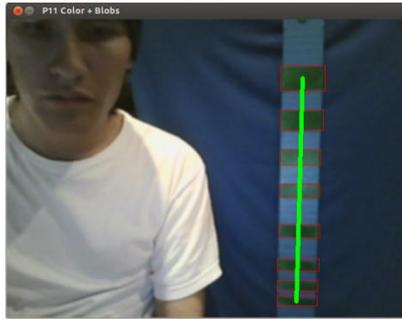


Figura 8.

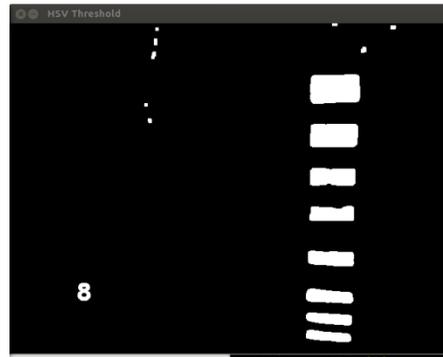


Figura 9.

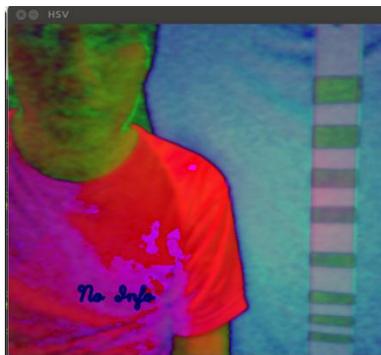


Figura 10.

Prototipos P12 Automatic Thresholding, P13 Class & Automatic Threshold

El fin de este prototipo pretendía que el umbral necesario para la detección de los Blobs se realizara de forma automática. Se realizó una búsqueda exhaustiva, y aunque no se encontraron ejemplos detallados sobre cómo hacerlo, se concluyó algo que ya se había predicho ligeramente: la mejor forma para que un sistema detecte un umbral de forma automática es por medio de los histogramas. El siguiente prototipo P13 agrupó ciertos elementos de las primeras clases que se identificaron (umbral e histograma) para lograr una mayor facilidad de implementación y poder realizar el umbral automático. En la Figura 11 se muestra los histogramas resultantes del análisis de las imágenes en HSV.

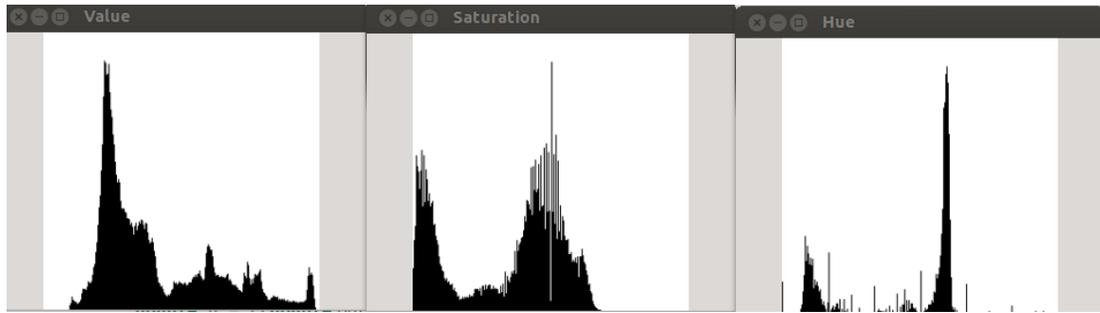


Figura 11.

Prototipo P14 Draw & Classes & AutoThreshold

Este prototipo dejó a un lado el código en *OpenCV* y se enfocó en repasar el uso de la librería *OpenGL*. Para ello, se hicieron pequeñas iteraciones donde el fin era simplemente usar la notación musical para dibujar una nota. En la Figura 12 se muestre un ejemplo del uso de la librería *OpenGL* para dibujar una corchea.



Figura 12.

Prototipo P15 Draw & Classes & Collision

Se definieron las clases que serían usadas para la inicialización de los objetos. Una vez hechas estas modificaciones, se dispuso a detectar la colisión de los Blobs con imágenes pintadas en un recuadro donde se proyecta la imagen capturada por la cámara, es decir, la interacción entre objetos del mundo real con objetos del mundo virtual. La tarea fue sencilla gracias a las propiedades de los blobs, es decir su centroides, y con una simple fórmula de distancia entre puntos con una frontera minimizada, se lograba la detección de las colisiones. En la Figura 13 Imagen antes de la colisión de un objeto real (la cinta verde) y los botones (objetos

virtuales) dibujados en la pantalla. En la Figura 14 muestra la imagen después de la colisión, donde el botón cambia a un color amarillo para demostrarlo.

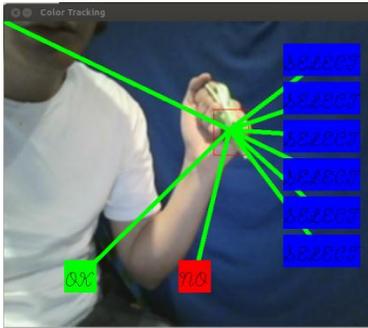


Figura 13.

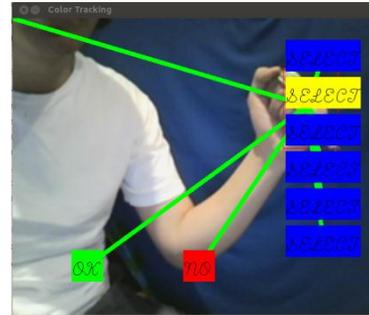


Figura 14.

Prototipo P16 Connection

El objetivo de este prototipo es crear un aplicativo en *JAVA* que funcione como servidor para el aplicativo en *C++*. La razón de porqué se realiza en este lenguaje es para facilitar la construcción de una tercera aplicación para la reproducción de sonidos MIDI, ya que es más sencillo de implementar en dicho lenguaje gracias a que cuenta con la librería *JavaSound*, la cual cuenta con todas las clases, métodos y librerías de sonido para lograrlo.

Para este prototipo, se creó un servidor *JAVA* y un cliente en *C++*, y funcionaba con un protocolo de Cliente-Servidor estándar. La aplicación de servidor fue construida con el fin de usarse dentro de la misma máquina donde se encuentra el cliente.

Prototipo P17 Collision & Sound

Este nuevo prototipo aplica los dos anteriores, P16 y P15, donde en el momento de detectar una colisión, el cliente enviará un mensaje al servidor indicando la nota y duración, y el servidor reproducirá el sonido. En el servidor se corren la aplicación de conexión y la aplicación de sonidos MIDI de manera simultánea, de modo que cuando el mensaje llega, el sonido se reproduce al instante.

Prototipo P18 Collision & Sound & Classes

El único fin de este prototipo es el de extender el anterior agregando nuevas clases que controlen de forma más eficiente la colisión y la reproducción de sonido. No agrega ninguna funcionalidad nueva, solo se enfoca en optimizar el proceso general del sistema.

Prototipo P19 OpenCV y OpenGL

Como se mencionó anteriormente, *OpenCV* cuenta con ciertos métodos para dibujar figuras primitivas en la pantalla, pero no cuenta con métodos para mover y girar dichas figuras sobre la imagen; la librería *OpenGL* soluciona este inconveniente. Para ello, se crea un cuadrilátero dentro del espacio de dibujo la ventana de *OpenGL*, enseguida la imagen capturada y procesada con *OpenCV* es pasada a la función de dibujar de *OpenGL*, la cual la asimila como una textura y la envuelve alrededor del cuadrilátero, mostrando la imagen y dibujando sobre ella. En este caso, se dibujó un rectángulo amarillo alrededor de los trastes para simular cómo se aplicaría la función de realidad aumentada dentro del sistema. En la Figura 15 se muestra a *OpenCV* (izquierda) y *OpenGL* (derecha) trabajando simultáneamente para demostrar la integración de la realidad aumentada.

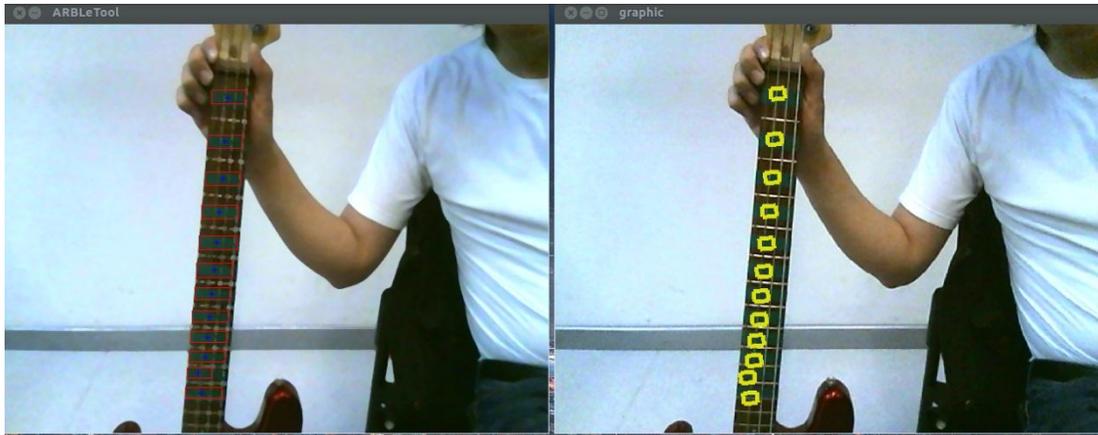


Figura 15.

Prototipo P20 Interfaces

Este prototipo es una configuración de las clases que se venían trabajando. Básicamente, se creó un número de interfaces de acuerdo con el tipo de función que poseen las clases y se ubicaron en una de las siguientes categorías:

- *Collision*: Todas las clases relacionadas con el manejo de las colisiones.
- *Conenction*: Todas las clases relacionadas con la conexión entre el cliente y el servidor.
- *Data*: Son archivos planos que representan la estructura musical del bajo.
- *Graphics*: Son las clases que se encargan de dibujar los aspectos de realidad aumentada sobre el plano de *OpenGL*.
- *Markers*: Son las que definen las posiciones de los blobs dentro de la imagen.
- *MidiSynth*: Esta es la aplicación Servidor que reproduce los sonidos del bajo.
- *Threshold*: Son las clases que se encargan de analizar los umbrales y segmentar la imagen.

Prototipo P21 MyBlob

Este prototipo fallido fue un intento de crear una propia librería de detección de blobs, luego de que la librería de *cvBlob* mostrara un impedimento de alta gravedad: la librería es incapaz de detectar el área de un blob una vez que este deje de tener una inclinación de 0° respecto a la horizontal o la vertical.

Este prototipo consistía en realizar el mismo procedimiento que la librería de *cvBlob* pero con la característica de detectar las esquinas de los blobs, de modo que a los trastes, al ser rectangulares, se les podría calcular una aproximación al área. En un comienzo parecía que la librería podía realizar su función esperada, pero a medida que se realizaban más pruebas y se realizaban más modificaciones a la librería, se pudo observar que el cálculo de las áreas tenía un alto margen de error y era poco estable, por lo que se optó por discontinuar el prototipo e imponer una restricción para el prototipo final: dejar el bajo en un posición estática vertical para realizar las pruebas.

Prototipo Final P22 Bass Detection

Este prototipo que será el entregable del proyecto. En este se implementan todos los prototipos de más alto grado de funcionalidad: P20, P19, P17 y P16, para así mostrar una pre-visualización de lo que el sistema podría lograr. El bajo detectado, los elementos de realidad aumentada, la detección de colisiones y la reproducción de sonido son todos los complementos que hacen parte de este entregable. En la Figura 16 se muestra la implementación final, detección de bajo y dedos (izquierda) y programa en *JAVA* para reproducción de sonidos MIDI (derecha).

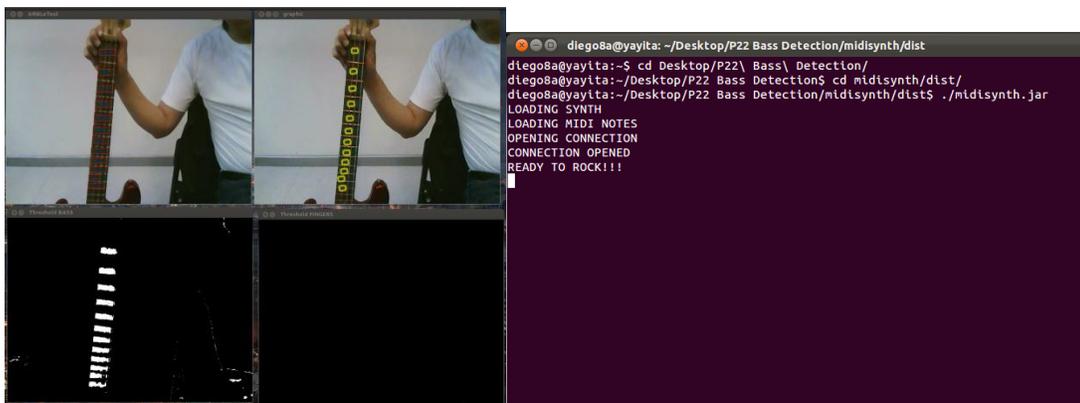


Figura 16.

Para este último prototipo, se utilizó un archivo plano que contenía los datos para que funcionase el sonido MIDI dentro de la aplicación en *JAVA*:

```
21
0 5 1 10 1 3 2 8 2
1 6 1 11 1 4 2 9 2
2 7 1 12 1 5 2 10 2
3 8 1 1 2 6 2 11 2
4 9 1 2 2 7 2 12 2
5 10 1 3 2 8 2 1 2
6 11 1 4 2 9 2 2 3
7 12 1 5 2 10 2 3 3
8 1 2 6 2 11 2 4 3
9 2 2 7 2 12 2 5 3
10 3 2 8 2 1 3 6 3
11 4 2 9 2 2 3 7 3
12 5 2 10 2 3 3 8 3
13 6 2 11 2 4 3 9 3
14 7 2 12 2 5 3 10 3
15 8 2 1 3 6 3 11 3
```

```
16 9 2 2 3 7 3 12 3
17 10 2 3 3 8 3 1 4
18 11 2 4 3 9 3 2 4
19 12 2 5 3 10 3 3 4
20 1 2 6 3 11 3 4 4
```

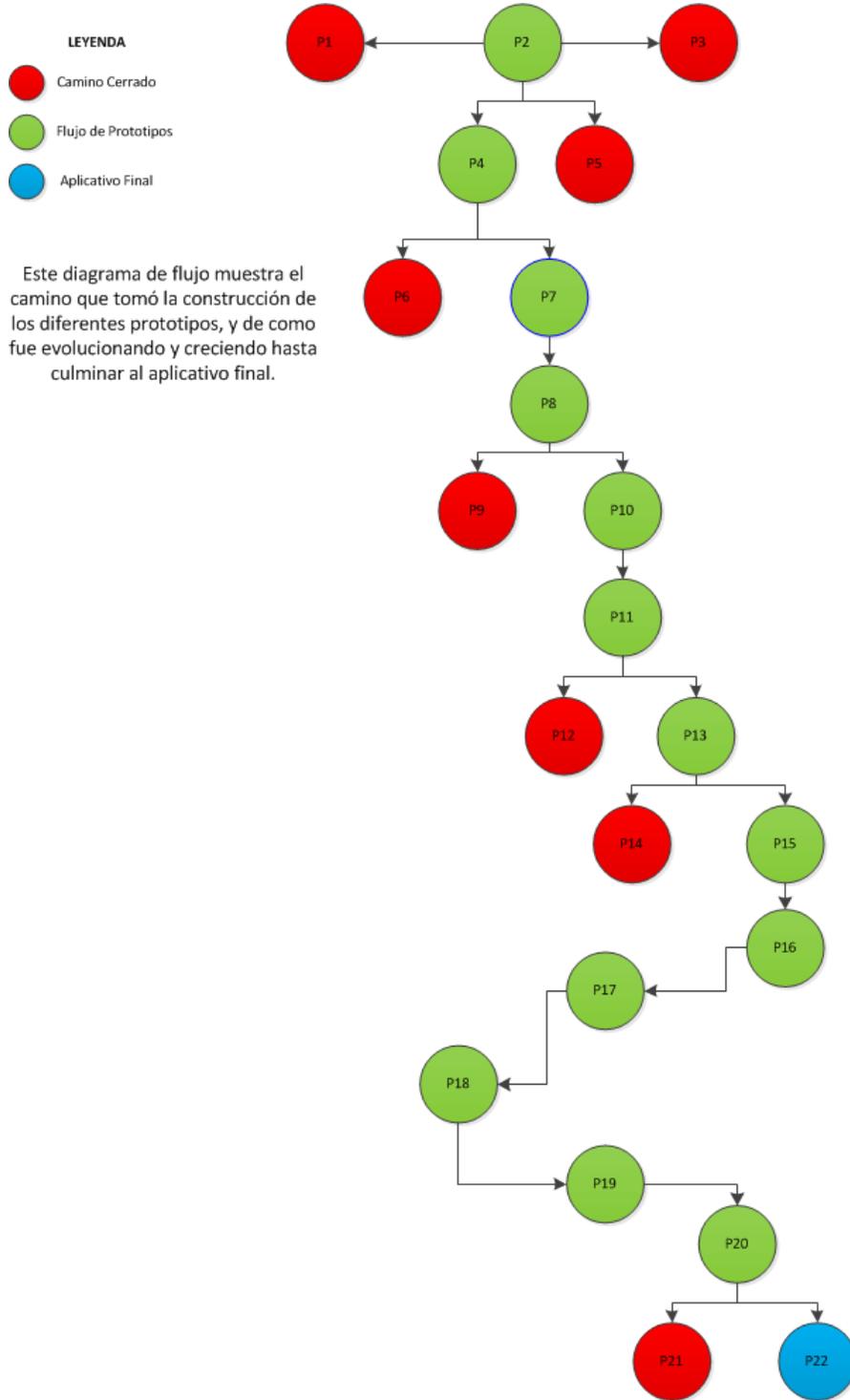
Donde la primera línea es la cantidad n de trastes que puede tener un bajo, las demás n líneas son todos los trastes restantes. En cada una de ellas la primera columna es el número del traste; las siguientes dos columnas son, respectivamente, la nota y la octava de este traste en la cuarta cuerda; las dos siguientes columnas son para la tercera cuerda, y así para la segunda y primera cuerda. Al detectar una colisión en el traste k , el programa en `C++` envía un mensaje con la nota y la octava, el programa en `JAVA` lo detecta y reproduce la nota acorde al mensaje.

Restricciones del Prototipo Final

- El bajo debe estar en posición totalmente vertical, esto porque los blobs no encapsulan los trastes de manera correcta a su geometría, en su lugar toman los puntos más alejados y pintan un rectángulo utilizando esos puntos, de modo que cuando el bajo esta en un posición diferente a la vertical o a la horizontal, pinta un rectángulo con una inclinación de 0° respecto a la horizontal sin importar la inclinación del traste o mástil.
- Los trastes a detectar serán solo del 1 al 12, esto porque los trastes disminuyen bastante de tamaño cuando a medida que se acercan al cuerpo del bajo, causa que el componente de detección de blobs los aglomere y crea que hay un traste muy grande.
- El sonido que reproduce el prototipo es correspondiente a las notas de la cuarta cuerda (la más gruesa) afinado en Mi (E). Un inconveniente es que si dos notas se tocan, una después de otra, demasiado rápido, los sonidos se solapan, algo que no sucede cuando se toca el bajo de forma convencional.
- La demostración para los testigos será únicamente de manera visual, por la inconsistencia del control de luz del ambiente de prueba, es necesario ser muy preciso y cuidadoso al momento de interactuar con el programa. Debido a esto, el desarrollado ejecuta las funcionalidades, lo cual causará problemas al momento de realizar las en-

cuestas del TAM para las secciones de facilidad de uso y de actitud hacia la herramienta.

Diagrama de Flujo de la construcción de prototipos



Validación de los componentes del proyecto

Como se mencionó en la descripción de las fases metodológicas, la validación se compone de tres partes: la primera se encarga de validar la arquitectura usada para la implementación del prototipo; luego la validación como herramienta de tecnología, es decir, la actitud que tienen o tendrían los usuarios respecto a la herramienta; y por último la validación del software como herramienta educativa.

Validación como herramienta de tecnología

Para la validación del software como una herramienta de tecnología, se decidió, a raíz de la asesoría del profesor Rafael Gonzales, utilizar la primera versión del modelo de aceptación de tecnología (TAM), diagramado a continuación:

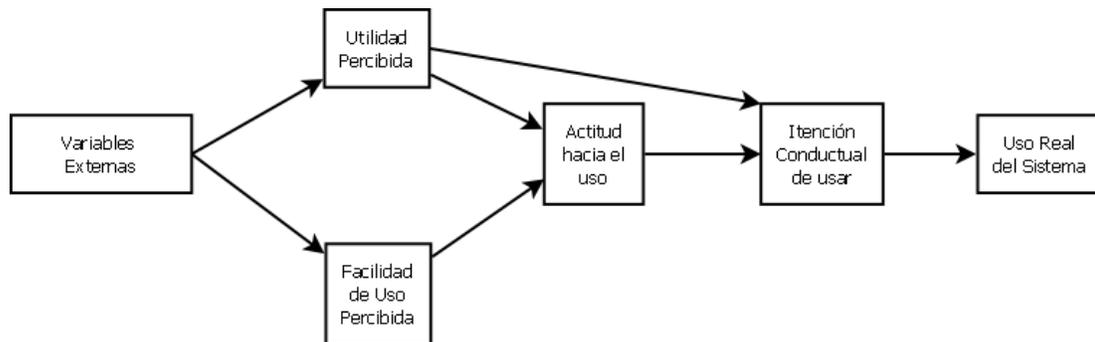


Figura 17. Modelo de la primera versión del TAM (traducido del inglés al español).

El TAM se basa en dos comportamientos del usuario respecto al sistema, ambos influenciados por un número de variables: la utilidad percibida, que determina el grado en que un individuo cree que usando un sistema en particular puede mejorar el desempeño en su trabajo, y la facilidad uso, que determina el grado en que un individuo cree que usando un sistema en particular puede liberarlo del esfuerzo físico o mental.

Inicialmente, se realizó una encuesta para hacer una aproximación de la actitud de los participantes frente a la tecnología en general. Las posibles respuestas eran: No tengo/No uso, Una vez a la semana, Más de una vez a la semana, Una vez al día todos los días, Más de una vez al día todos los días. La encuesta usada fue la siguiente:

Tabla de enumeración de ítems para actitud frente a la tecnología

Ítem No.	Pregunta
HEV-AT1	Accedo a internet desde mi laptop, computador de escritorio, Smartphone o Tablet.
HEV-AT2	Utilizo aplicaciones en mi laptop, computador de escritorio, Smartphone o Tablet*.
HEV-AT3	Me entretengo con juegos de video de un solo jugador**.
HEV-AT4	Me entretengo con juegos de video competitivos**.
HEV-AT5	Cuando estoy en periodo lectivo, utilizo herramientas de software para mis deberes académicos.
HEV-AT6	Cuando no estoy en periodo lectivo, utilizo herramientas de software para mis actividades de ocio.
HEV-AT7	Predigo que seguiré usando aplicativos de software en un futuro durante mi tiempo libre.
HEV-AT8	Predigo que seguiré usando aplicativos de software en un futuro durante mis horas laborales.

*Diferente a un navegador de Internet o video juegos.

**Puede ser juegos de consola, Facebook, computador u otros que sean virtuales.

Figura 18. Tabla de preguntas usadas para medir la actitud del usuario frente a la tecnología.

Enseguida se aplicaron las encuestas para medir tanto la utilidad percibida como la facilidad de uso. Esta validación se realiza a partir de encuestas que utilizan una escala de Likert de 1 a 7 (siendo 1 totalmente de acuerdo y 7 totalmente en desacuerdo). Las preguntas de las encuestas son adaptadas de otras preguntas genéricas que el autor del TAM utilizó cuando estaba validando su modelo, respecto a la herramienta de correo electrónico. Las encuestas fueron las siguientes:

Tabla de enumeración de ítems para utilidad percibida en HEV

Ítem No.	Pregunta
HEV-UP1	Usar HEV mejora la calidad de mis estudios.
HEV-UP2	Usar HEV me da un mayor control sobre mis estudios.
HEV-UP3	Las HEV me permiten completar mis tareas de manera más rápida.
HEV-UP4	Las HEV apoyan aspectos críticos de mis estudios.
HEV-UP5	Usar HEV aumentan mi productividad.
HEV-UP6	Usar HEV mejora mi desempeño en mis estudios.
HEV-UP7	Las HEV me permiten realizar más trabajo que de otro modo sería imposible.
HEV-UP8	Usar HEV mejor mi efectividad en mis estudios.
HEV-UP9	Usar HEV hace que sea más fácil realizar mis estudios,
HEV-UP10	En general, considera que las HEV son útiles para mi desempeño académico.

Figura 19. Tabla de preguntas usada para medir la utilidad percibida por el usuario respecto al uso de herramientas de educación virtual.

Tabla de enumeración de ítems para facilidad de uso en HEV

Ítem No.	Pregunta
HEV-FU1	Encuentro incomodo el uso de HEV.
HEV-FU2	Aprender a usar una HEV es muy fácil para mi.
HEV-FU3	Interactuar con una HEV es en ocasiones frustrante.
HEV-FU4	Encuentro sencillo lograr que una HEV haga lo que yo quiero que haga.
HEV-FU5	Las HEV son por lo general rígidas e inflexibles para interactuar con.
HEV-FU6	Es fácil para mi recordar como realizar tareas usando una HEV.
HEV-FU7	Interactuar con una HEV requiere un gran esfuerzo mental de mi parte.
HEV-FU8	Mi interacción con una HEV es clara y comprensible.
HEV-FU9	Me doy cuenta que se requiere de mucha práctica para ser habilidoso en el uso de una HEV.
HEV-FU10	En general, encuentro que las HEV son fáciles de usar.

Figura 20. Tabla de preguntas usadas para medir la facilidad de uso del usuario respecto al uso de herramientas de educación virtual.

Similarmente, se aplicó una prueba de actitud frente a las herramientas de educación virtual, basándose en un modelo desarrollado para operacionalizar la actitud hacia el comportamiento de un usuario frente al sistema [12].

Con todo considerado, el uso de HEV en mi estudios es:

	NEUTRAL							
BUENO								MALO
SABIO								TORPE
FAVORABLE								DESFAVORABLE
BENEFICO								NOCIVO
POSITIVO								NEGATIVO

Figura 21. Tabla para la prueba de actitud frente al uso de las herramientas de educación virtual.

Con la primera versión del prototipo lista para que los usuarios lo probaran, se realizó otra encuesta similar a las dos relacionadas con las herramientas de educación virtual, pero enfocada al uso de la herramienta como tal. Las encuestas usadas se muestran a continuación:

Tabla de enumeración de ítems para utilidad percibida para ARB Learning Tool

Ítem No.	Pregunta
ARB-UP1	Usar ARB en mis estudios me permitiría completar mis tareas más rápido.
ARB-UP2	Usar ARB mejoraría mi desempeño en mis estudios.
ARB-UP3	Usar ARB en mis estudios aumentaría mi productividad.
ARB-UP4	Usar ARB mejoraría mi efectividad en mis estudios.
ARB-UP5	Usar ARB haría más fácil realizar mis deberes o estudios.
ARB-UP6	Encontraría ARB útil en mis estudios.

Figura 22. Tabla de preguntas usada para medir la utilidad percibida por el usuario respecto al uso de ARB Learning Tool.**Tabla de enumeración de ítems para facilidad de uso para ARB Learning Tool**

Ítem No.	Pregunta
ARB-FU1	Aprender a operar ARB sería fácil para mi.
ARB-FU2	Encontraría fácil que ARB haga lo que yo quiero que haga.
ARB-FU3	Mi interacción con ARB sería clara y entendible.
ARB-FU4	Encontraría a ARB flexible para trabajar con.
ARB-FU5	Sería sencillo para mi para ganar habilidad usando el ARB.
ARB-FU6	Encontraría a ARB fácil de usar.

Figura 23. Tabla de preguntas usadas para medir la facilidad de uso del usuario respecto al uso de ARB Learning Tool.

Con todo considerado, predigo que un futuro, el uso del ARB en mis estudios será

	NEUTRAL							
BUENO								MALO
SABIO								TORPE
FAVORALBE								DESFAVORABLE
BENEFICO								NOCIVO
POSITIVO								NEGATIVO

Figura 24. Tabla para la prueba de actitud frente al uso de ARB Learning Tool.

Las encuestas se aplicaron a través de un formato electrónico en *Google Forms*, a las siguientes muestras: 5 estudiantes novatos o intermedios no profesionales y 3 músicos profesionales.

Después, los resultados se analizaron utilizando la media de cada resultado dentro de un porcentaje total al 100%; además, se tomó nota de las observaciones realizados por los músicos profesionales, lo cual resultó un grato agregado para el resultado del prototipo. La demostra-

ción del prototipo no tuvo interacción alguna por parte de los encuestados, en su lugar, y por facilidad para el correcto funcionamiento, se ofreció una demostración totalmente visual, poniendo en contexto a cada uno de los encuestados sobre cómo funciona el sistema y cuál es su objetivo. La primera encuesta se aplicó antes de presentar el prototipo y la segunda encuesta después de haberlo presentado. Al final, a los encuestados se les dio un espacio para que ofrecieran una opinión que fuera más allá de las encuestas; de las que se tomó nota de lo que pudo ser más relevante para la mejora del sistema o para otros nuevos usos no contemplados antes.

Es importante mencionar que, aunque las encuestas se diligenciaron de manera completa entre los testigos, únicamente las encuestas referentes a las herramientas de educación virtual se van a tomar en cuenta en su totalidad, puesto que todos los encuestados entran dentro del grupo de haber utilizado una ayuda con estas características en algún momento de su vida estudiantil o laboral.

Sin embargo, para las encuestas enfocadas hacia la herramienta ARB Learning Tool, la única que tendría un peso real (tomando en cuenta la exposición limitada hacia las funcionalidades del prototipo) es la encuesta de utilidad percibida, y que existe una mayor posibilidad de detectar dicha característica de una herramienta por medio de una explicación teórica de su funcionamiento y una demostración no interactiva, pero para el caso de evaluar su facilidad de uso y la actitud respecto a ella, se considera que es necesario que haya un largo periodo de prueba donde los encuestados usen directamente la herramienta y validen si se benefician o no por sus funciones.

IV - RESULTADOS Y REFLEXIÓN

Resultados

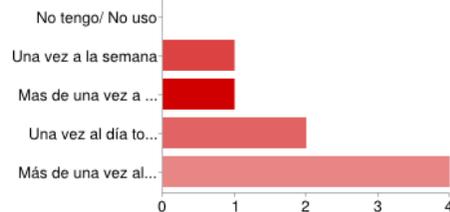
Encuesta para medir la actitud respecto al uso de las herramientas de educación virtual

Actitud frente a la tecnología

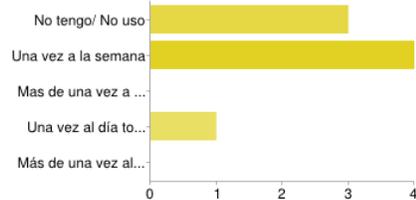
1. Accedo a internet desde mi laptop, computador de escritorio, smartpho-
ne o tablet.



2. Utilizo aplicaciones en mi laptop, computador de escritorio, smartpho-
ne o tablet.



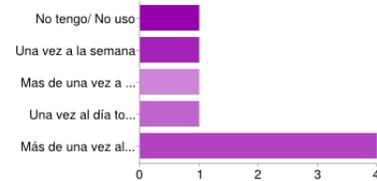
3. Me entretengo con juegos de video de un solo jugador.



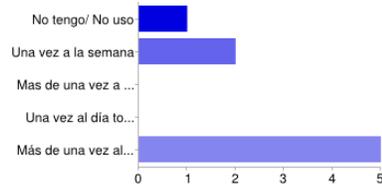
4. Me entretengo con juegos de video competitivos.



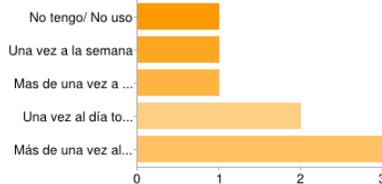
5. Cuando estoy en periodo lectivo, utilizo herramientas de software para mis deberes académicos.



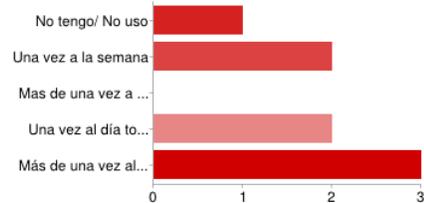
6. Cuando no estoy en periodo lectivo, utilizo herramientas de software para mis actividades de ocio.



7. Predigo que seguiré usando aplicativos de software en un futuro durante mi tiempo libre.



8. Predigo que seguiré usando aplicativos de software en un futuro durante mis horas laborales.



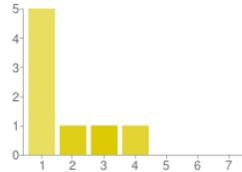
A raíz de esta primera parte de la encuesta, se puede observar que el rango de preferencia entre los encuestados es bastante amplio. Por lo menos todos los encuestados admitieron utilizar el internet en su tiempo libre y lo usan frecuentemente. Respecto al uso de software de entrenamiento, todos al menos han tenido contacto con este tipo de actividad; sin embargo, es necesario notar que la mayoría prefiere jugar juegos de un solo jugador y no de manera competitiva. Se considera que este rasgo es una consecuencia de la cultura, ya que los videojuegos modernos requieren de conexión a internet, además del costo del juego (excluyendo los juegos gratis como son los de Facebook, pero que exigen jugar entre sesiones todos los días para avanzar), y, en ocasiones, el pago de una suscripción, elementos que causan que las personas de un país con las características económicas de Colombia se distancien de esto.

Respecto al uso de herramientas de software para ayudarse en las actividades de estudio, se puede ver que son usadas frecuentemente, aunque, curiosamente, más encuestados admiten utilizarlas con más frecuencia cuando no están estudiando. En el ámbito laboral, las respuestas fueron más balanceadas, sugiriendo que son conscientes de que en un futuro tendrán que utilizar las herramientas de software de manera habitual.

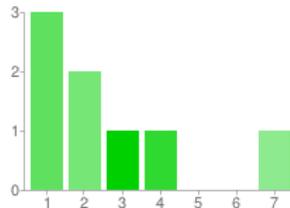
Un caso particular fue el de uno de los músicos profesionales, pues él se rehúsa por completo a utilizar las herramientas de software, excepto tal vez para navegar de vez en cuando en internet; además, sugiere que nunca en un futuro espera tener que utilizar ningún aplicativo de software. A pesar de que su posición ante la tecnología es ligeramente radical, sean cuales sean sus razones, se considera que es una valiosa adición a la muestra, de la cual puede que llegara a ver este tipo de tecnología de una forma distinta.

Utilidad percibida en las herramientas de educación virtual

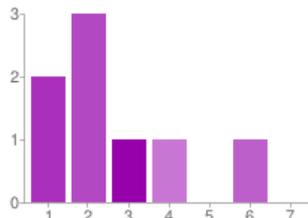
1. Usar HEV mejora la calidad de mis estudios.



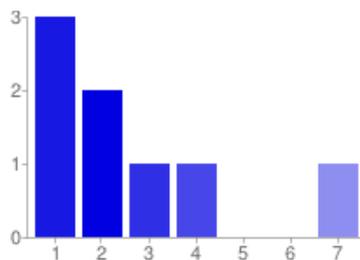
2. Usar HEV me da un mayor control sobre mis estudios.



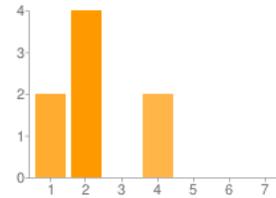
4. Las HEV me permiten completar mis tareas de manera más rápida.



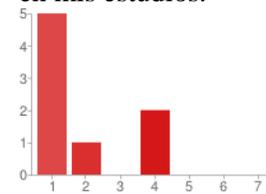
5. Las HEV apoyan aspectos críticos de mis estudios.



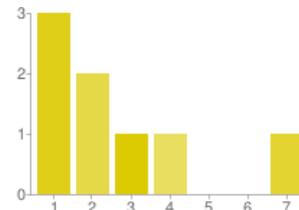
6. Usar HEV aumenta mi productividad.



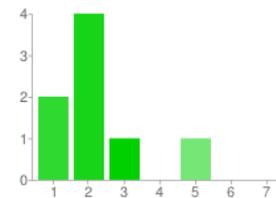
7. Usar HEV mejora mi desempeño en mis estudios.



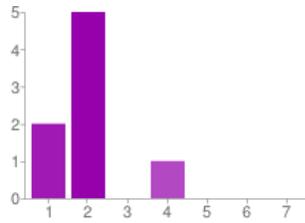
8. Las HEV me permiten realizar más trabajo que de otro modo sería imposible.



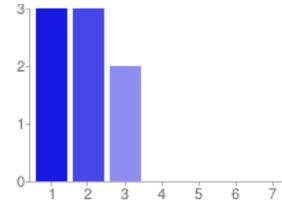
9. Usar HEV mejora mi efectividad en mis estudios.



10. Usar HEV hace que sea más fácil estudiar.



11. En general, considero que las HEV son útiles para mi desempeño académico.

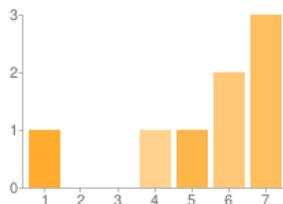


PORCENTAJE	HEV-UP1	HEV-UP2	HEV-UP3	HEV-UP4	HEV-UP5	HEV-UP6	HEV-UP7	HEV-UP8	HEV-UP9	HEV-UP10	TOTALES
1	62,50%	37,50%	25,00%	37,50%	25,00%	62,50%	37,50%	25,00%	25,00%	37,50%	37,50%
2	12,50%	25,00%	37,50%	25,00%	50,00%	12,50%	25,00%	50,00%	62,50%	37,50%	33,75%
3	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	0,00%	0,00%	12,50%	12,50%	0,00%	25,00%	10,00%
4	12,50%	12,50%	12,50%	12,50%	25,00%	25,00%	12,50%	0,00%	12,50%	0,00%	12,50%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	1,25%
6	0,00%	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,25%
7	0,00%	12,50%	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	3,75%
Totales	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

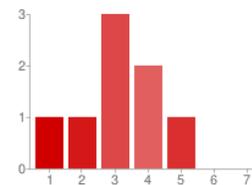
A partir de la encuesta de utilidad, se puede ver que la mayoría de los encuestados tienen una recepción muy positiva hacia las herramientas de educación, con un total de 81,25% arriba de 4, en contraste con un 6,75% debajo de 4. Este último resultado se puede identificar fácilmente con el músico entrevistado que mostró poca apreciación sobre el uso no solo de herramientas virtuales sino de cualquier tipo de tecnología (aunque algunas respuestas las marcó como neutral, y la respuesta de la HEV-UP10 no parece ser consistente con las demás, puede que haya sido un error involuntario al responder la pregunta). Aunque es posible concluir que la muestra sí está dispuesta a aceptar las herramientas de educación virtual como un medio para optimizar su rendimiento en el estudio de diversas áreas.

Facilidad de uso en las herramientas de educación virtual

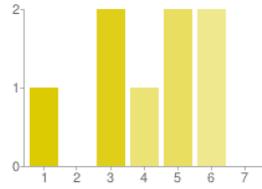
1. Encuentro incómodo el uso de HEV.



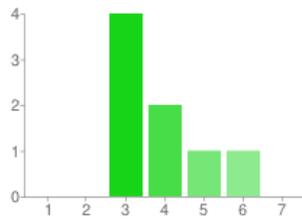
2. Aprender a usar una HEV es muy fácil para mí.



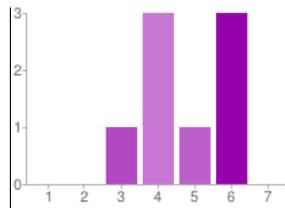
3. Interactuar con una HEV es en ocasiones frustrante.



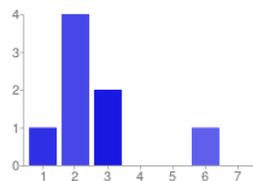
4. Encuentro sencillo lograr que una HEV haga lo que yo quiero que haga.



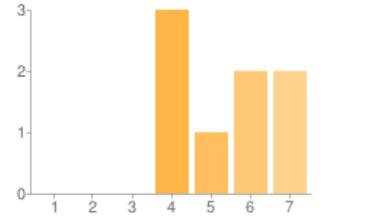
5. Las HEV son por lo general rígidas e inflexibles para interactuar con.



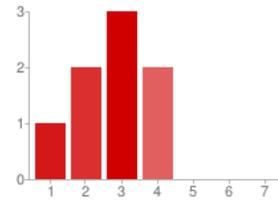
6. Es fácil para mí recordar cómo realizar tareas usando una HEV.



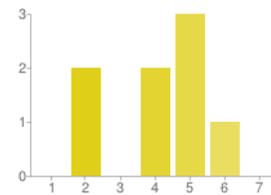
7. Interactuar con una HEV requiere un gran esfuerzo mental de mi parte.



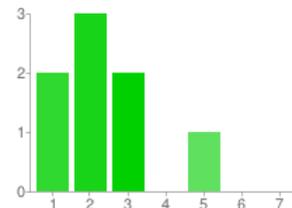
9. Mi interacción con una HEV es clara y comprensible.



10. Me doy cuenta de que se requiere de mucha experiencia para ser habilidoso en el uso de una HEV.



11. En general, encuentro que las HEV son fáciles de usar.



PORCENTAJE	HEV-FU1	HEV-FU2	HEV-FU3	HEV-FU4	HEV-FU5	HEV-FU6	HEV-FU7	HEV-FU8	HEV-FU9	HEV-FU10	TOTALES
1	12,50%	12,50%	12,50%	0,00%	0,00%	12,50%	0,00%	12,50%	0,00%	25,00%	8,75%
2	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%	25,00%	25,00%	37,50%	15,00%
3	0,00%	37,50%	25,00%	50,00%	12,50%	25,00%	0,00%	37,50%	0,00%	25,00%	21,25%
4	12,50%	25,00%	12,50%	25,00%	37,50%	0,00%	37,50%	25,00%	25,00%	0,00%	20,00%
5	12,50%	12,50%	25,00%	12,50%	12,50%	0,00%	12,50%	0,00%	37,50%	12,50%	13,75%
6	25,00%	0,00%	25,00%	12,50%	37,50%	12,50%	25,00%	0,00%	12,50%	0,00%	15,00%
7	37,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	25,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,25%
Totales	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Los resultados de la sección de facilidad de uso contrastan bastante con los resultados de utilidad percibida. Para comenzar la totalidad de los resultados en porcentajes de las preguntas está distribuido de manera más equitativo entre el rango de respuestas posibles, sin embargo a diferencia de la primera fase, estas preguntas están planteadas para evaluar aspectos negativos y positivos de las herramientas de educación virtual por lo que es necesario realizar una análisis más de punto a punto.

Las preguntas que evalúan a las HEV desde un punto de vista negativo (HEV-FU01, HEV-FU03, HEV-FU05, HEV-FU07, HEV-FU09) muestran que los encuestados no tienen problemas al momento de decidirse por usar una de estas herramientas (HEV-FU01), pero una fracción menor considera que las HEV pueden causar frustración a causa de su uso (HEV-FU03), lo que podría pensarse que es un problema de diseño; sin embargo, la siguiente pregunta (HEV-FU5) parece contradecir esta hipótesis, pero la pregunta que le sigue (HEV-FU7) pone en evidencia que el agotamiento mental puede llegar a ser la causa. Por último (HEV-FU9), se considera que la curva de aprendizaje de las herramientas es amplia y por lo tanto es fácil ganar experiencia para su uso.

Con lo anterior se puede deducir que el uso de las herramientas es sencillo para los encuestados, aunque la causa de la frustración frente a su uso parece ser de factores ajenos a la herramienta, como pueden ser el conflicto de compatibilidad del software con el sistema operativo u otros software, el uso de licencias, la falta de soporte por parte de los desarrolladores y el mercado inundado de productos sin ningún sobresaliente, entre otros.

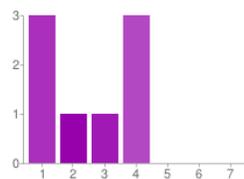
Las preguntas que evalúan a las HEV desde un punto de vista positivo (HEV-FU02, HEV-FU04, HEV-FU06, HEV-FU08) muestran que los encuestados encuentran las herramientas como sencillas para aprender a usar y recordar los pasos de cómo realizar una tarea en especí-

fico (HEV-FU02, HEV-FU06). Sin embargo, la mayoría menciona que en ocasiones encuentra problemas para poder lograr que un herramienta cumpla con su objetivo (HEV-FU04), esto seguramente es resultado de la primera interacción que se haga con la herramienta o de que su interfaz gráfica use convenciones que son desconocidas por el estudiante e incluso de que el lenguaje de la herramienta puede causar inconveniencias en las primeras interacciones. No obstante, una vez que se tiene la experiencia, se puede notar que se las siguientes interacciones surgen como algo más natural para el usuario (HEV-FU08).

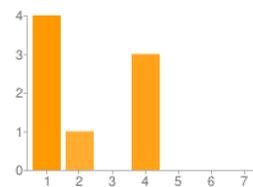
De los encuestados, la mayoría (HEV-FU10 65%) tienen una actitud muy positiva hacia la facilidad de uso de las herramientas de educación virtual. Lo que mejor se pudo observar de los resultados es que los usuarios saben y reconocen que la experiencia con las herramientas facilitan su uso cada vez más, aunque aseguran que las primeras veces ajustarse a la mayoría de las herramientas puede llegar a ser un poco difícil y puede causar problemas en las primeras interacciones, pero al final logran cumplir el objetivo que se estaba esperando de estas.

Con todo considerado, el uso de HEV en mis estudios es:

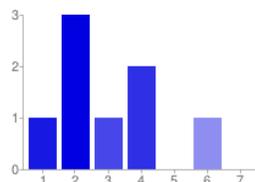
BUENO - MALO



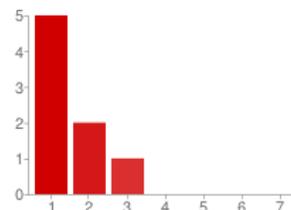
FAVORABLE - DESFAVORABLE

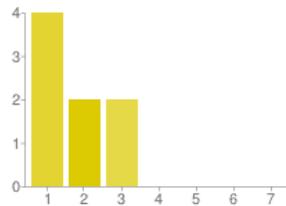


SABIO – TORPE



BENÉFICO - NOCIVO



POSITIVO - NEGATIVO

PORCENTAJE	Bueno-Malo	Sabio-Torpe	Favorbale-Desfavorable	Benefico-Nocivo	Positivo-Negativo	TOTALES
1	37,50%	12,50%	50,00%	62,50%	50,00%	42,50%
2	12,50%	37,50%	12,50%	25,00%	25,00%	22,50%
3	12,50%	12,50%	0,00%	12,50%	25,00%	12,50%
4	37,50%	25,00%	37,50%	0,00%	0,00%	20,00%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%
7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totales	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

La encuesta de actitud muestra que la mayoría de los encuestados (77,5%) tiende hacia una respuesta positiva respecto a las HEV, y las considera un factor que puede fortalecer su desempeño académico y que no representa un problema para el entendimiento de dominio del problema que se está trabajando.

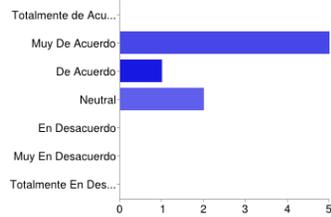
Conclusiones de la encuesta

Los resultados de la muestra son bastante satisfactorios, que demuestran que los encuestados sí están familiarizados con las herramientas, independientemente de si les agrada usarlas o no, y consideran que facilitan su desempeño en sus estudios y que es sencillo interactuar con ellas, aunque tengan que incurrir a alguna curva de aprendizaje que pueda obstaculizar el proceso de aprendizaje (lo cual puede ocurrir por malas decisiones de diseño referente a la interface del usuario). Pero dejando ese aspecto aparte, se demuestra una actitud receptiva hacia las herramientas de educación virtual gracias a su utilidad frente a los problemas y a su facilidad de uso para interactuar con.

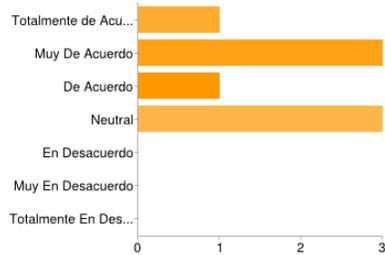
Encuesta para medir la actitud respecto al uso de la herramienta ARB Learning Tool

Utilidad Percibida en la ARB Learning Tool

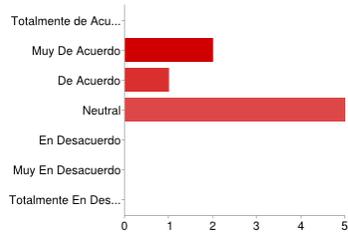
1. Usar ARB en mis estudios me permitiría completar mis tareas más rápido.



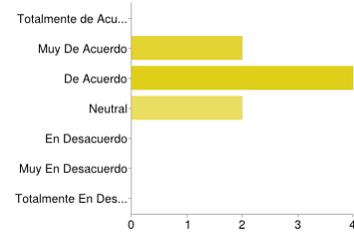
2. Usar ARB mejoraría mi desempeño en mis estudios.



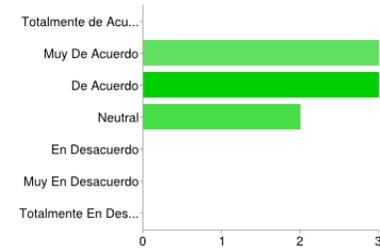
3. Usar ARB en mis estudios aumentaría mi productividad.



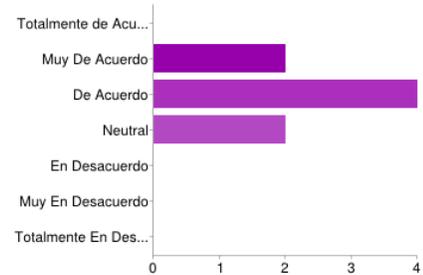
4. Usar ARB mejoraría mi efectividad en mis estudios.



5. Usar ARB haría más fácil realizar mis deberes o estudios.



6. Encontraría ARB útil en mis estudios.



PORCENTAJE	ARB-UP1	ARB-UP2	ARB-UP3	ARB-UP4	ARB-UP5	ARB-UP6	TOTALES
1	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,08%
2	62,50%	37,50%	25,00%	25,00%	37,50%	25,00%	35,42%
3	12,50%	12,50%	12,50%	50,00%	37,50%	50,00%	29,17%
4	25,00%	37,50%	62,50%	25,00%	25,00%	25,00%	33,33%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totales	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

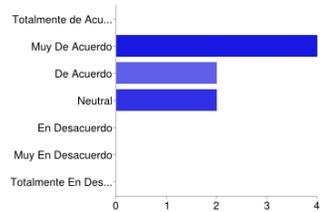
Los resultados de la encuesta en el caso de la herramienta ARB Learning Tool fueron casi unánimes respecto a la utilidad percibida. Un 66,07% de los encuestados mostró una apreciación positiva y un 33,3% mostró una posición neutra, un resultado razonable tomando en cuenta las limitaciones del prototipo demostrado y la casi nula interacción con este por parte de los encuestados, puesto que por dichas razones pudo causar duda o especulaciones respecto al futuro de la herramienta. Sin embargo, la cantidad de encuestados que percibían la herramienta como algo sin utilidad fue del 0,0%, lo cual invita a concluir que se pueden tener grandes expectativas de su efectividad como herramienta educativa. Cabe anotar que los músicos percibieron algo más que solo una herramienta educativa. A su vez, el músico que se mostró desinteresado por las herramientas de software, se mostró muy entusiasmado respecto al uso del programa en otras áreas.

La más común de las sugerencias fue la de usar el programa como una herramienta para la producción de sonido, porque las notas que emitía el programa se solapaban, algo que curiosamente es resultado de las restricciones impuestas al prototipo, y eso producía una secuencia de sonidos que nunca se podrían lograr tocando el bajo de manera ordinaria. Los músicos expresaron su deseo de usar la herramienta para reproducir sonidos sin que existiera alguna interacción física entre el intérprete y el instrumento, de modo que se pudieran crear piezas musicales multi-instrumentales y que pudieran grabarse o hacerse en presentaciones en vivo. Una segunda sugerencia que surgió fue la de integrar esos elementos con puestas en escena que no necesariamente se enfoquen a la interpretación de piezas musicales, sino también usarlos en otras artes escénicas, como la danza y el teatro; la idea es que allí donde el individuo está interpretando la escena pueda utilizar la herramienta para generar sonidos a su voluntad, en lugar de estar pregrabados, de manera que se puedan usar para amplificar el signi-

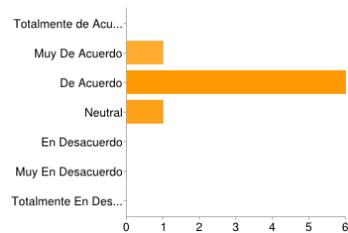
ficado de aquello que quiera transmitir al público o para sumergir a la audiencia en otro ambiente sonoro más dinámico.

Facilidad de Uso en la ARB Learning Tool⁶

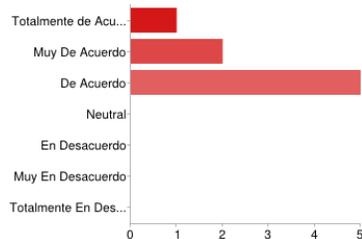
1. Aprender a operar ARB sería fácil para mí.



2. Encontraría fácil que ARB haga lo que yo quiero que haga.

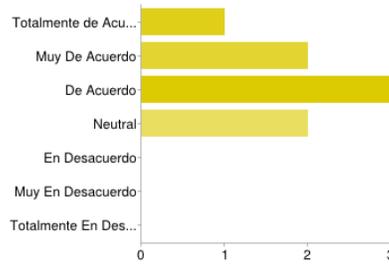


3. Mi interacción con ARB sería clara y entendible.

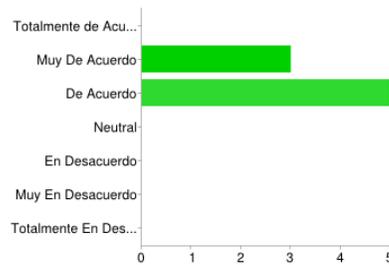


4. Encontraría a ARB flexible para trabajar con.

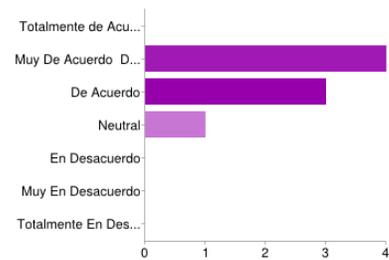
⁶ Como el prototipo que se utilizó para la evaluación del sistema por parte de los encuestados carece de las características necesarias para validar su facilidad de uso y actitud de manera precisa, el análisis de estos resultados son meramente especulativos y no sustentan la aceptación que tienen las encuestas sobre la herramienta.



5. Sería sencillo para mí para ganar habilidad usando el ARB.



6. Encontraría a ARB fácil de usar.



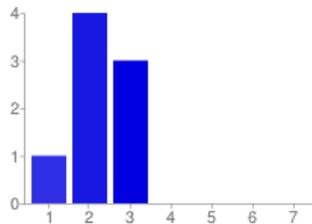
PORCENTAJE	ARB-FU1	ARB-FU2	ARB-FU3	ARB-FU4	ARB-FU5	ARB-FU6	TOTALES
1	0,00%	0,00%	12,50%	12,50%	0,00%	0,00%	4,17%
2	50,00%	12,50%	25,00%	25,00%	37,50%	50,00%	33,33%
3	25,00%	75,00%	62,50%	37,50%	62,50%	37,50%	50,00%
4	25,00%	12,50%	0,00%	25,00%	0,00%	12,50%	12,50%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totales	100,00%						

A pesar de las limitadas características del prototipo y la nula interacción de los encuestados con la herramienta, los resultados sobresalieron por ser en su gran mayoría positivos con un 87,5%, neutral con un 12,5% y negativos con un 0%. Con estos resultados se puede llegar a

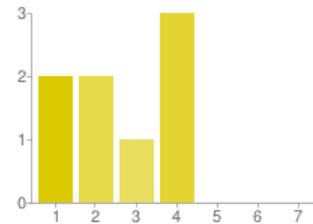
especular que la herramienta podría llegar a ser muy amigable con el usuario y que no poseería una curva de aprendizaje demasiado angosta.

Con todo considerado, predigo que un futuro, el uso del ARB en mis estudios será:

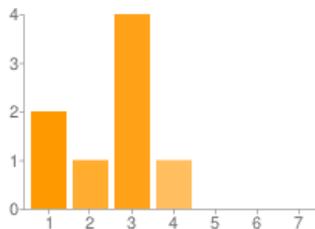
BUENO – MALO



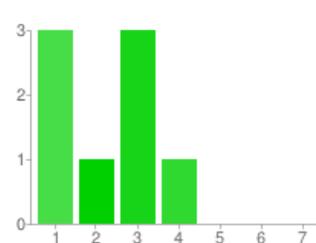
BENÉFICO – NOCIVO



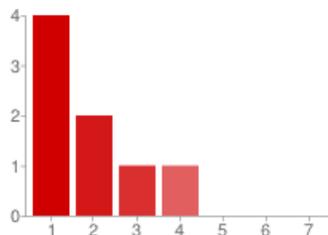
SABIO – TORPE



POSITIVO – NEGATIVO



FAVORABLE – DESFAVORABLE



PORCENTAJE	Bueno-Malo	Sabio-Torpe	Favorable-Desfavorable	Benefico-Nocivo	Positivo-Negativo	TOTALES
1	12,50%	25,00%	50,00%	25,00%	37,50%	30,00%
2	50,00%	12,50%	25,00%	25,00%	12,50%	25,00%
3	37,50%	50,00%	12,50%	12,50%	37,50%	30,00%
4	0,00%	12,50%	12,50%	37,50%	12,50%	15,00%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Totales	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

De nuevo, el favoritismo por la herramienta sobresale entre los resultados de esta encuesta, los cuales flotan demasiado en lo etéreo para ser tomados en cuenta.

Conclusiones de esta encuesta

Aunque las encuestas de Facilidad de Uso y de Actitud no pasan de más de un simulacro muy superficial, la encuesta de Utilidad Percibida sí tiene el peso para demostrar todo el potencial que puede tener el sistema, donde los no-músicos y los músicos pueden acertar en una posibilidad para aplicar la herramienta en un espacio totalmente pedagógico con elementos interactivos y lúdicos. Por otro lado, las nuevas sugerencias para aplicar la herramienta en otros campos prometen que su utilidad no sea restringida y que pueda llegar a explotarse con otros fines.

Se puede afirmar fuertemente que el objetivo planteado al comienzo de este proyecto se cumplió en términos de que sí existe la posibilidad de crear una herramienta con nuevas tecnologías para la educación de un instrumento musical como lo es el bajo.

V – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

1. Conclusiones

Después de haber realizado el análisis de los resultados sobre los encuestados, se puede afirmar que sí se cumplió el objetivo general del proyecto. Por una parte, y tomando en cuenta la pregunta generadora, se logró construir un prototipo que pudiera mostrar el potencial que tendría la herramienta final si tuviera todas las características que se han visualizado a través del desarrollo del proyecto; es decir, mostrar que mediante un tipo de tecnología, la realidad aumentada, es posible crear una herramienta que pueda llegar a ser usada como mecanismo para instruir a aspirantes de tocar el bajo eléctrico, y además que puede llegar existir un mayor nivel al que está planteado en este momento, aplicando la tecnología de realidad aumentada a campos como la producción musical y la presentación en escena, que exploten las características técnicas presentes en el prototipo.

Se puede afirmar que el proyecto sí enfrenta satisfactoriamente al problema planteado, donde las demás herramientas existentes (*Guitar Hero*, *Rock Band* y *Rocksmith*) presentan una gran cantidad de limitaciones que evitan que puedan ser usadas para algo más que una aplicación de entretenimiento personal o masivo. El proyecto ataca estos problemas y ofrece soluciones, que aunque no están total y formalmente presentes en el prototipo, sí sugiere alternativas que pueden mitigar los conflictos y problemas que existen en otras herramientas.

En conclusión, el proyecto logró su objetivo y deja en exhibición el potencial que puede tener la integración de este tipo de tecnología en áreas tan complejas como la pedagogía y en áreas tan reacias al cambio como la educación musical. De la misma forma, muestra que tiene potencial de ser más que una herramienta educativa, una herramienta que pueda llegar a ser usada en un nuevo espacio para la producción y realización de eventos musicales y artísticos.

2. Recomendaciones

Entre las recomendaciones, resaltan dos aspectos que siempre fueron problemáticos durante el desarrollo del proyecto:

- **Tecnología:** Las herramientas tecnológicas usadas para alcanzar el objetivo son de poca precisión y confianza. El análisis de imágenes vía una cámara digital contiene demasiadas variables cuyos estados están cambiando constantes y se tendría que crear un ambiente totalmente controlado para lograr que dicho proceso que logre. De igual forma, es un proceso que consume un gran poder de procesamiento y harían falta máquinas con estas características para que funcionara, lo que conlleva a aumentar los costos de la investigación. La recomendación propuesta es de investigar otras tecnologías que también puedan implementarse y que requieran un menor grado de configuración, como los son las tecnologías de laser infrarrojo.
- **Participación de testigos:** Un riesgo que influyó mucho que en el desarrollo del proyecto fue la participación de los testigos, la muestra que se había elegido desde un principio y que prometía su colaboración no se manifestó al momento de recurrir a ayuda, por lo que fue necesario buscar de nuevo y con una ventana de tiempo mucho más reducida. La recomendación propuesta es comenzar a trabajar en vínculos fuertes con instituciones o grupos (en lugar de personas individuales), para que en el momento de realizar las encuestas, ya haya una muestra dispuesta a colaborar con todo lo necesario.

3. Trabajos futuros

A partir de los resultados que surgieron de esta investigación, se pudo observar que este tipo de tecnologías pueden aplicarse en campos más amplios que los que se tomaron en cuenta para el desarrollo de este proyecto. Lo importante en este momento es indagar en las demás áreas propuestas por los músicos testigos y analizar cuál podría ser el impacto que una tecnología como esta puede causar dentro de la industria de la música, más que en las instituciones educativas.

Así mismo, es necesario comenzar con la investigación de nuevas tecnologías que puedan ser aplicadas, que tengan un mayor y más óptimo desempeño que el utilizado para la construcción de los prototipos, de modo que lo que se obtenga sea un sistema que utilice un poder moderado de procesamiento, que pueda ser distribuido fácilmente, que tenga el soporte técnico adecuado, etc., todo en conjunto para lograr una herramienta que sea asequible para distintas entidades, ya sean educativas, personales o con fines de entretenimiento.

Por último, hace falta realizar un estudio totalmente formal de los escenarios en que esta herramienta puede ser usada como herramienta educativa, ya que este tipo de procesos requieren de largos periodos de prueba y análisis con diferentes muestras y ambientes; sin embargo, ya se dejó una base para poder tomar una iniciativa sobre cuál sería la mejor forma para realizar estas pruebas y bajo qué criterios se deben ejecutar para cumplir con las características necesarias y así validarse como una herramienta educativa ante los ojos de las instituciones pedagógicas.

VI - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Referencias

- [1] Kinect for Windows. [Online]. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [2] Contedios Bancolombia Google Play. [Online]. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bancolombia>
- [3] Brennon Slattery, "Guitar Hero World Tour Peripherals Riddled with Problems," *PC World*, October 2008.
- [4] Activision Publishing Inc. (2010) Guitar Hero. [Online]. <http://hub.guitarhero.com/>
- [5] Harmonix Music Systems. (2010) RockBand. [Online]. <http://www.rockband.com/international>
- [6] Ben Kuchera. (2011, Octubre) The three reasons Rocksmith fails as a way to learn guitar. [Online]. <http://arstechnica.com/gaming/2011/10/the-three-reasons-rocksmith-fails-as-a-way-to-learn-guitar/>
- [7] Daphne Bavelier C. Shawn Green, "Action video game modifies visual selective attention," *Nature*, vol. 453, pp. 534-537, Mayo 2003.
- [8] M. S. el-Nasr, C. D. Shaw D. Moura, "Visualizing and understanding players' behavior in video games: discovering patterns and supporting aggregation and comparison," *ACM SIGGRAPH 2011 Game Papers*, p. 2, 2011.
- [9] R. Berta, A. D. Gloria, y L. Primavera, F. Bellotti, "Enhancing the educational value of video games," *Computers in Entertainment*, 2009.
- [10] A. Mendiz M. De Aguilera, "Video games and education:(Education in the Face of a "Parallel School")," *Computers in Entertainment (CIE)*, 2003.

- [11] K. Perlin, "Improving noise," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 21, pp. pp. 681–682, 2002.
- [12] Kirak Kim et al. (2007) The Dream of Peter Pan: User Interaction Arts using Computer Vision Techniques. ACM 978-1-59593-640-0/07/0006. PDF.
- [13] Gerhard Reitmayr, Mark Billinghurst, and Dieter Schmalstieg. (2003) WireAR - Legacy Applications in Augmented Reality. ISMAR 03 0-7695-2006-5/03. PDF.
- [14] Dieter Schmalstieg. (2005) Augmented Reality Techniques in Games. ISMAR 05 0-7695-2459-1/05. PDF.
- [15] M.Carmen, Juan David Furió, Ignacio Seguí, Noemí Rando, and Juan Cano. (2002) Lessons learnt from an experience with an augmented reality iPhone learning game. APRENDRA TIN2009-14319-C02. PDF.
- [16] Mohammad Chuttur, "Overview of the Technology Acceptance Model: Origins, Developments and Future Directions," *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, vol. 9, no. 37, 2009.
- [17] PlayStation Move Motion Cotroller. [Online]. <http://us.playstation.com/ps3/playstation-move/>
- [18] Nintendo Wii. [Online]. <http://www.nintendo.com/wii>
- [19] Computer Vision - Wikipedia. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision
- [20] Virtual Reality - Wikipedia. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality
- [21] Augmented Reality - Wikipedia. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality
- [22] Virtual Education - Wikipedia. [Online].

http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_education

- [23] Intel Corporation. OpenCV Wiki. [Online].
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [24] Cris Carnero Li. (2009) cvblob - Blob Library for OpenCV. [Online].
<http://code.google.com/p/cvblob/>
- [25] Khronos Group. (1997) OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphic. [Online]. <http://www.opengl.org/>
- [26] (2006) cvBlobsLib - OpenCV Wiki. [Online].
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/cvBlobsLib>
- [27] Paul Messick, *Maximum MIDI Music Applications in C++*. Manning, 1988.
- [28] Robert Laganière, *OpenCV 2 Compute Vision Application Programming Cookbook*. Birmingham: PACKT, 2011.
- [29] Gary Bradski and Adrian Kaehler, *Learning OpenCV*. Sebastopol: O'Reilly, 2008.
- [30] Dave Shreiner, Mason Woo, Jackie Neider, and Tom Davis, *OpenGL Programming Guide*. Boston: Addison-Wesley, 2008.
- [31] Rafale Gonzales and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Segunda ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [32] Shamik Sural, Gang Qian, and Sakti Pramanik, "Segmentation and Hisotgram Generation Using the HSV Color Space For Image Retrieval ," *IEEE ICIP 2002*, vol. 2, pp. 589-592, 2002.
- [33] Paul L. Rosin, "Unimodal Thresholding," Brunel University, Londres,.
- [34] Gayle Burns, Bonnie Correia, Shari Shelton, and Joan Van Duzer. (2002) Rubric For Online Instruction. [Online].
<http://www.csuchico.edu/tlp/resources/rubric/instructionalDesignTips.pdf>

- [35] (2009) Rubric for Online Instruction. [Online]. <http://www.csuchico.edu/tlp/resources/rubric/rubric.pdf>
- [36] Sun Youl Park, "An Analysis of the Technology Acceptance Model in Understanding University Students' Behavioral Intention to Use e-Learning," *Educational Technology & Society*, vol. 3, no. 12, pp. 150-162.
- [37] Isaiah Lule, Tonny K. Omwansa, and Timothy M. Waema, "Application of Technology Acceptance Model (TAM) in M-Banking Adoption en Kenya," *International Journal of Computing and ICT Research*, vol. 6, no. 1, pp. 31-43.
- [38] Marios Koufaris, "Applying the Technology Acceptance Model and Flow Theory to Online Consumer Behavior," *Information Systems Research*, vol. 13, no. 2, pp. 205-223, Junio 2002.
- [39] Viswanath Venkatesh and Hillol Bala, "Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions," *The Author*, vol. 39, no. 2, pp. 273-315, Mayo 2008.
- [40] Maslin Masrom, "Technology Acceptance Model and E-learning," *12 International Conference on Education*, May 2007.
- [41] Viswanath Venkatesh, Michael G. Morris, Gordon B. Davis, and Fred D. Davis, "User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View," *MIS Quarterly*, vol. 27, no. 3, pp. 425-478, Septiembre 2003.
- [42] Raafat George Saadé, Fassil Nebebe, and Weiwei Tan, "Viability of the "Technology Acceptance Model" in Multimedia Learning Environments: A Comparative Study," *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, vol. 3, 2007.
- [43] Ubisoft. (2012) Rocksmith | Ubisoft | Home. [Online]. <http://rocksmith.ubi.com/rocksmith/en-GB/home/>
- [44] (2008) QjackCtl JACK Audio Connection Kit - Qt GUI Interface. [Online]. <http://qjackctl.sourceforge.net/>

[45] (2009) Guitarix. [Online]. <http://guitarix.sourceforge.net/>

2. Bibliografía

- [1] Brennon Slattery, "Guitar Hero World Tour Peripherals Riddled with Problems," *PC World*, October 2008.
- [2] Ben Kuchera. (2011, Octubre) The three reasons Rocksmith fails as a way to learn guitar. [Online]. <http://arstechnica.com/gaming/2011/10/the-three-reasons-rocksmith-fails-as-a-way-to-learn-guitar/>
- [3] Daphne Bavelier C. Shawn Green, "Action video game modifies visual selective attention," *Nature*, vol. 453, pp. 534-537, Mayo 2003.
- [4] M. S. el-Nasr, C. D. Shaw D. Moura, "Visualizing and understanding players' behavior in video games: discovering patterns and supporting aggregation and comparison," *ACM SIGGRAPH 2011 Game Papers*, p. 2, 2011.
- [5] R. Berta, A. D. Gloria, y L. Primavera, F. Bellotti, "Enhancing the educational value of video games," *Computers in Entertainment*, 2009.
- [6] A. Mendiz M. De Aguilera, "Video games and education:(Education in the Face of a "Parallel School")," *Computers in Entertainment (CIE)*, 2003.
- [7] K. Perlin, "Improving noise," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 21, pp. pp. 681–682, 2002.
- [8] Kirak Kim et al. (2007) The Dream of Peter Pan: User Interaction Arts using Computer Vision Techniques. ACM 978-1-59593-640-0/07/0006. PDF.

-
- [9] Gerhard Reitmayr, Mark Billinghurst, and Dieter Schmalstieg. (2003) WireAR - Legacy Applications in Augmented Reality. ISMAR 03 0-7695-2006-5/03. PDF.
- [10] Dieter Schmalstieg. (2005) Augmented Reality Techniques in Games. ISMAR 05 0-7695-2459-1/05. PDF.
- [11] M.Carmen, Juan David Furió, Ignacio Seguí, Noemí Rando, and Juan Cano. (2002) Lessons learnt from an experience with an augmented reality iPhone learning game. APRENDRA TIN2009-14319-C02. PDF.
- [12] Mohammad Chuttur, "Overview of the Technology Acceptance Model: Origins, Developments and Future Directions," *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, vol. 9, no. 37, 2009.
- [13] (2009) Rubric for Online Instruction. [Online]. <http://www.csuchico.edu/tlp/resources/rubric/rubric.pdf>
- [14] Harmonix Music Systems. (2010) RockBand. [Online]. <http://www.rockband.com/international>
- [15] Intel Corporation. OpenCV Wiki. [Online]. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [16] Cris Carnero Li. (2009) cvblob - Blob Library for OpenCV. [Online]. <http://code.google.com/p/cvblob/>
- [17] Khronos Group. (1997) OpenGL - The Industry Standard for High Performance Graphic. [Online]. <http://www.opengl.org/>
- [18] (2009) Guitarix. [Online]. <http://guitarix.sourceforge.net/>
- [19] (2008) QjackCtl JACK Audio Connection Kit - Qt GUI Interface. [Online]. <http://qjackctl.sourceforge.net/>
- [20] (2006) cvBlobsLib - OpenCV Wiki. [Online]. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/cvBlobsLib>
- [21] Paul Messick, *Maximum MIDI Music Applications in C++*. Manning, 1988.

- [22] Robert Laganière, *OpenCV 2 Compute Vision Application Programming Cookbook*. Birmingham: PACKT, 2011.
- [23] Gary Bradski and Adrian Kaehler, *Learning OpenCV*. Sebastopol: O'Reilly, 2008.
- [24] Dave Shreiner, Mason Woo, Jackie Neider, and Tom Davis, *OpenGL Programming Guide*. Boston: Addison-Wesley, 2008.
- [25] Rafale Gonzales and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Segunda ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [26] Shamik Sural, Gang Qian, and Sakti Pramanik, "Segmentation and Histogram Generation Using the HSV Color Space For Image Retrieval," *IEEE ICIP 2002*, vol. 2, pp. 589-592, 2002.
- [27] Paul L. Rosin, "Unimodal Thresholding," Brunel University, Londres,.
- [28] Gayle Burns, Bonnie Correia, Shari Shelton, and Joan Van Duzer. (2002) Rubric For Online Instruction. [Online].
<http://www.csuchico.edu/tlp/resources/rubric/instructionalDesignTips.pdf>
- [29] Sun Youl Park, "An Analysis of the Technology Acceptance Model in Understanding University Students' Behavioral Intention to Use e-Learning," *Educational Technology & Society*, vol. 3, no. 12, pp. 150-162.
- [30] Isaiah Lule, Tonny K. Omwansa, and Timothy M. Waema, "Application of Technology Acceptance Model (TAM) in M-Banking Adoption en Kenya," *International Journal of Computing and ICT Rearch*, vol. 6, no. 1, pp. 31-43.
- [31] Marios Koufaris, "Applying the Technology Acceptance Model and Flow Theory to Online Consumer Behavior," *Information Systems Research*, vol. 13, no. 2, pp. 205-223, Junio 2002.
- [32] Viswanath Venkatesh and Hillol Bala, "Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions," *The Author*, vol. 39, no. 2, pp. 273-315, Mayo 2008.
- [33] Maslin Masrom, "Technology Acceptance Model and E-learning," *12 International Conference on Education*, May 2007.

- [34] Viswanath Venkatesh, Michael G. Morris, Gordon B. Davis, and Fred D. Davis, "User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View," *MIS Quarterly*, vol. 27, no. 3, pp. 425-478, Septiembre 2003.
- [35] Raafat George Saadé, Fassil Nebebe, and Weiwei Tan, "Viability of the "Technology Acceptance Model" in Multimedia Learning Environments: A Comparative Study," *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* , vol. 3, 2007.
- [36] Ubisoft. (2012) Rocksmith | Ubisoft | Home. [Online]. <http://rocksmith.ubi.com/rocksmith/en-GB/home/>
- [37] Activision Publishing Inc. (2010) Guitar Hero. [Online]. <http://hub.guitarhero.com/>

VII - ANEXOS

Anexo 1. Post-mortem

1. Metodología propuesta vs. Metodología realmente utilizada.

La metodología se siguió tal como fue propuesta. Primero haciendo una investigación de los temas, tecnologías y herramientas; luego usando una metodología iterativa para la construcción del prototipo y su documentación. La fase de validación sí sufrió un cambio: como antes se pensaba usar únicamente los testigos y la opinión de expertos, tras una consulta con el profesor Rafael Gonzales, se optó por utilizar la metodología de TAM y examinar los perfiles de los testigos.

2. Actividades propuestas vs. Actividades realizadas.

Cada actividad se realizó como fue propuesta, aunque no exactamente acorde al cronograma, donde la fase de validación se retrasó bastante por los problemas que se describieron anteriormente con los testigos. Otra actividad que cambió un poco fue el desarrollo del compo-

nente de análisis de onda de sonido, ya que el *Real Tone Cable* se demoró demasiado en ser enviado desde EE.UU., por lo que se decidió no continuar con ese prototipo para no afectar el desarrollo del resto del proyecto.

3. Efectividad en la estimación de tiempos del proyecto

Los tiempos totales se desfasaron bastante de los reales, especialmente en las actividades de desarrollo del código del proyecto y la documentación, donde se dio un largo tiempo para el desarrollo pero solo se usó una fracción de cada uno, por otro lado, las actividades de documentación tomaron mayor tiempo de lo esperado. Al final el desfaldo de horas es considerable, pero la razón detrás de esto fue con la intención de cumplir con las horas mínimas de estudio establecidas por la universidad por cada crédito asignado de la materia, eso causó que los tiempos estimados fueran muchos mayores a los reales. El siguiente cuadro muestra la efectividad de los tiempos⁷:

Actividad	Total de Horas Propuestas	Total de Horas Reales
Documentación	69	45
Código	78	43
Investigación	45	63
Totales	192	151

4. Costo estimado vs. Costo real del proyecto

El costo del proyecto resultó ser menor por dos aspectos: los asesores para el desarrollo y corrección del proyecto (Jairo Rodríguez y Carolina Ochoa, respectivamente) hicieron el trabajo voluntario sin cobrar; lo segundo fue el costo del bajo, que al ser comprado en un local de compraventa tuvo un costo mucho menor al esperado. Por otro lado, sí se presentaron otros gastos por la compra de cables de salida y entrada de audio para el bajo con el computador y por la compra del cable *Real Tone Cable*, pero estos no influyeron significativamente para superar costo estimado.

⁷ Estos cálculos se realizaron a partir de las horas registradas en el acta de trabajo.

5. Efectividad en la estimación y mitigación de los riesgos del proyecto.

El primer riesgo que se activó fue el no haber contado con la muestra original para la validación del prototipo. Para mitigar este riesgo, se acudió al director de trabajo de grado, ya que él contaba con sus propios contactos como respaldo en caso de que algo como esto sucediera, y aunque en un número menor, se contó con otra muestra.

El segundo riesgo fue algo que no se tenía previsto, pues el director de trabajo de grado se vio incapacitado e incomunicado durante aproximadamente 12 días, lo cual imposibilitó toda retroalimentación del desarrollo en ese breve periodo. No se esperaba este riesgo, por lo que no se pensó en un plan de respuesta.

Anexo 2. Entregables

[Diagrama de Clases](#)

[Manual de Usuario](#)

[Documentación Código](#)

Anexo 3. Archivos Propuesta de Trabajo de Grado

[Propuesta](#)

[Poster](#)