

Libro Mágico de Vectores con AR

Luis Palomino Ramírez
ITESM, Campus Guadalajara, Escuela de Ingeniería, Depto. de Ciencias Computacionales
lpalomin@itesm.mx

Luis Eduardo Falcón Morales
ITESM, Campus Guadalajara, Escuela de Postgrado en Ingeniería
luis.eduardo.falcon@itesm.mx

Juan Carlos Quezada Andrade
ITESM, Campus Guadalajara, Escuela de Ingeniería, Depto. de Ciencias Básicas
jcqa@itesm.mx

Resumen

Se presenta la descripción y puesta en marcha de un libro tradicional de vectores 2D/3D, el cual ha sido extendido con contenido virtual. El resultado de la innovación educativa es llamado libro mágico de vectores, a través del cual los estudiantes pueden tener acceso a los contenidos del libro, sin la necesidad del uso de ninguna tecnología, o bien con el uso de hardware y software específicos, los estudiantes pueden interactuar con el contenido virtual para mejorar su comprensión sobre distintas propiedades de los vectores. Se describe el proceso de desarrollo del libro mágico y se presentan los resultados obtenidos durante su puesta en marcha con estudiantes reales.

Palabras clave: vectores, realidad aumentada, libro mágico, AR.

1 Introducción

Históricamente, estudiosos de la Física han planteado modelos matemáticos, una y otra vez, como medio para comprender mejor distintos fenómenos físicos. De esta forma, las Matemáticas y la Física son ciencias que se han mantenido relacionadas. Tal es el caso, por ejemplo de Isaac Newton, quien tuvo necesidad de desarrollar el cálculo infinitesimal para abordar el estudio de las leyes del movimiento y la gravitación [1].

En la enseñanza y el aprendizaje de la Física, y siguiendo este mismo razonamiento: se puede afirmar que para mejorar el aprendizaje y la comprensión de la Física, los estudiantes deberían entender mejor las matemáticas que son usadas para modelar fenómenos físicos, como por ejemplo, los vectores. Los vectores son entidades matemáticas que son usadas para modelar distintas propiedades físicas: velocidad, aceleración, fuerza, etc. Si las distintas propiedades de los vectores son comprendidas adecuadamente por los estudiantes, entonces el aprendizaje de la Física, en donde intervienen los vectores, se verá favorecido.

Desafortunadamente, los vectores son abstracciones matemáticas que son intangibles para los estudiantes. Más aún si se considera el

caso de vectores en el espacio 3D. Aquí, los estudiantes pueden tener dificultades para visualizar ciertas propiedades de los vectores, tales como su magnitud, sus componentes rectangulares, sus ángulos directores, la proyección de un vector sobre un plano, el vector unitario, el vector normal a un plano, etc.

En educación, distintos autores proponen el uso de tecnologías computacionales para enriquecer el aprendizaje de los estudiantes, tales como el uso de gráficas computacionales [5], VR (Realidad Virtual, por sus siglas en inglés: *Virtual Reality*) y AR (Realidad Aumentada, por sus siglas en inglés: *Augmented Reality*) [6]. La AR es una percepción del entorno físico real que ha sido combinado o aumentado con elementos virtuales creando una realidad mixta en tiempo real [2].

Todas estas soluciones tecnológicas, dejan a un lado el aprendizaje tradicional, por ejemplo, el aprendizaje que está basado en contenidos educativos, pero que no requiere del uso de tecnología. Una aproximación educativa que combina el uso de tecnología (AR) y contenidos educativos tradicionales es el concepto de libro mágico. Un libro mágico mimetiza el concepto de un libro físico tradicional conocido como libro pop-up (aquel que tiene elementos en relieve

que se despliegan al abrir el libro) y lo combina con contenido virtual de diferentes formas [2].

Sin embargo, no se encontraron en la literatura evidencias del uso del libro mágico para mejorar la visualización y comprensión de las propiedades de vectores en el espacio 3D, y con ello, mejorar el aprendizaje de la Física. Por tanto, en este trabajo de investigación se describe el desarrollo y puesta en marcha de un libro mágico de vectores con el objetivo de evaluar su uso en la visualización espacial y comprensión de las propiedades y operaciones de vectores en el espacio 3D. Importante aclarar que el impacto que tiene este en el aprendizaje de la Física, por parte de los estudiantes, no es considerado inicialmente es este estudio.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el problema y se hace una revisión del estado del arte. En la sección 3 se describe la propuesta que ayudaría a dar una solución al problema. En la sección 4 se presentan y discuten los resultados obtenidos y en la sección 5 se presentan las conclusiones obtenidas de esta investigación, incluyendo el trabajo futuro.

2. Problema

Los vectores son abstracciones matemáticas utilizadas para representar cantidades que se caracterizan por tener una magnitud y una dirección, medidos desde un marco de referencia [3]. Visualmente, los vectores 2D suelen denotarse gráficamente con una flecha en un espacio Euclídiano, como se ilustra en la Figura 1.

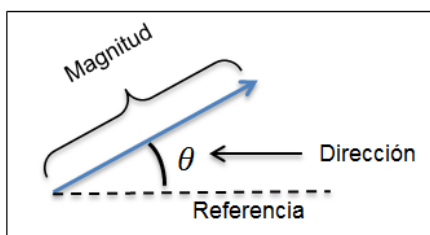


Figura 1. Representación y propiedades de un Vector 2D.

En la enseñanza de la Física, los estudiantes deben aprender a utilizar vectores para modelar algunas de sus propiedades, tales como: velocidad, aceleración, fuerza, posición, etc. También, deben aprender a realizar operaciones analíticas con vectores, con el objetivo plantear o modelar problemas que describen fenómenos físicos. Más aún, con el propósito de un mejor entendimiento de las propiedades y las

operaciones que realizan con vectores, los estudiantes deben poder visualizar espacialmente las distintas propiedades de un vector: magnitud, componentes rectangulares, ángulos directores, vector unitario, proyección de un vector en un plano, vector normal a un plano, etc.

Aunque esta tarea de visualizar espacialmente las propiedades de un vector, se puede conseguir sin mucha dificultad en el caso de vectores en el plano, esta misma tarea se dificulta en el caso de vectores en el espacio 3D. En tal caso, el uso de perspectiva es usado para ayudar a los estudiantes a visualizar las propiedades de un objeto 3D dibujado en un espacio bidimensional, tal como como una hoja papel, una pizarra o la pantalla de una computadora. Por ejemplo, la imagen de la Figura 2 ilustra, con la ayuda de perspectiva, las componentes rectangulares de un vector 3D. El estudiante debe ser capaz de comprender la magnitud del vector, sus ángulos directores, sus componentes rectangulares, y el hecho de que estas son ortogonales entre sí.

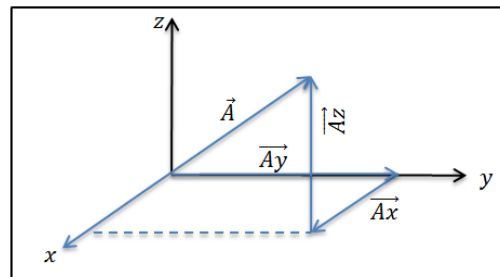


Figura 2. Componentes rectangulares de un vector en el espacio 3D.

Sin embargo, el proceso de proyección de un mundo 3D en una imagen plana 2D introduce varias distorsiones de los objetos en la vista [4]:

1. Efecto de distancia: los objetos en la vista aparecen más grandes cuando están más cerca al plano de la imagen.
2. Efecto de posición: la distorsión de una vista depende también del ángulo entre la línea de visión y el plano de la imagen, el cual depende de la posición de la vista.
3. Efecto de escorzo: la distorsión de una vista depende del ángulo entre la superficie normal del plano sobre el que se dibuja la vista y la línea de visión.

Dichas distorsiones nos llevan a cuestionar el aprendizaje de los estudiantes cuando se utilizan vectores 3D dibujados en perspectiva. ¿Pueden los estudiantes visualizar adecuadamente la

magnitud de un vector 3D?, ¿la amplitud de sus ángulos directores?, ¿la ortogonalidad de sus componentes rectangulares?, ¿la proyección de un vector sobre un plano?, etc.

De acuerdo a nuestra experiencia en la enseñanza de la Física, existen indicios de que el aprendizaje de los estudiantes en el tema de vectores 3D, e incluso de vectores 2D, podría mejorar significativamente si ellos tienen un mejor entendimiento de sus propiedades espaciales. En este contexto, el uso de tecnologías computacionales que ayude a los estudiantes a mejorar su percepción visual espacial, así como aumentar la interacción entre los estudiantes y los vectores puede ayudar a alcanzar el objetivo de mejorar el aprendizaje [5, 6]. Por ejemplo, en [5] se afirma que la calidad de la educación moderna en ingeniería está directamente ligada con la habilidad de los estudiantes de interpretar dibujos de estructuras de ingeniería. Ellos proponen, para los estudiantes de primer año de ingeniería, la aplicación de tecnologías de AR para usarse en la enseñanza de geometría descriptiva y el curso de gráficas computacionales.

En [6] se afirma que tecnologías de VR y AR ofrecen posibilidades interesantes para estudiar diferentes componentes del comportamiento humano y proceso cognitivo, tal como mejorar las habilidades espaciales. Sin embargo, tratan poco sobre la interacción de los estudiantes y el mundo real. En este sentido, en [7] se usa el concepto de libro mágico, el cual mimetiza el concepto de un libro físico tradicional (libro *pop-up*). Un libro mágico es aquel que combina contenido real con contenido virtual de diferentes formas [7], como se ilustra en la Figura 2.3. Libros de AR: a) simple (no hay contenido real) b) multimedia lado a lado (el contenido real y el virtual están separados) c) multimedia integrado (el contenido real y el virtual están integrados).

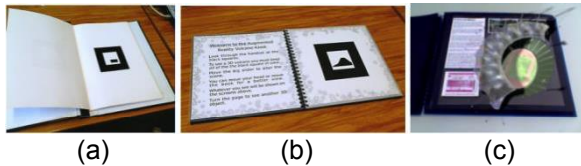


Figura 3. Tipos de libros mágicos: a) libro físico, b) libro multimedia lado a lado, c) libro multimedia integrado. Fuente: [7].

Con esta aproximación de libro mágico, es posible entonces utilizar contenidos educativos tradicionales con tecnologías de gráficas computacionales y AR. En la siguiente sección, se propone el uso de este concepto para mejorar

la visualización y comprensión de las propiedades de los vectores en el espacio 3D.

3. Propuesta

Se propone una innovación educativa que mejore la visualización y comprensión de propiedades de vectores en el espacio 3D. La solución propuesta no es solo tecnológica, sino que combina lo mejor de dos mundos: un libro tradicional, llamado el libro físico, donde los estudiantes tengan acceso a contenidos y ejercicios sobre vectores 2D y 3D, sin necesidad de requerir ningún tipo de tecnología. Por otro lado, un libro mágico que incorpore tecnología de AR y que pueda ser usado por los estudiantes para enriquecer su aprendizaje, a través de mejorar sus habilidades espaciales y la interacción con elementos del mundo real (por ejemplo, el propio libro físico).

La combinación de características de un libro real, con las de un libro virtual tiene ventajas. Por un lado, los estudiantes pueden usar el libro físico (que contiene texto, tablas, imágenes, etc.) para estudiar un tema del curso. Por otro lado, los estudiantes pueden usar el libro virtual, embebido dentro del libro físico, para visualizar e interactuar, de distintas maneras, con información virtual relacionada con el tema:

1. Accediendo a una página Web donde pueda conocer más acerca del tema: un tutorial, un video, etc.
2. Accediendo a una aplicación gráfica de vectores donde pueda manipular y simular propiedades y operaciones con vectores.
3. Visualizando los vectores 3D desde distintas perspectivas, interactuando con los vectores 3D en tiempo real.

En este trabajo de investigación se describe el desarrollo y puesta en marcha de un prototipo de libro de mágico de vectores con AR. Le llamamos prototipo porque se trata en realidad de una prueba de concepto, ya que, si bien el libro físico trata una gran parte de los contenidos del tema de vectores, la aplicación que implementa el libro virtual (la parte de AR) solo contempla algunos cuantos escenarios.

3.1 El libro físico

El libro físico (ver portada en la Figura 3) sintetiza años de experiencia en la enseñanza de vectores de fuerza 2D y 3D. Se trata de un libro tradicional que incluye los contenidos mostrados en la Figura 3.2. Con el libro físico, el estudiante reafirma los conceptos vistos en el salón de clase y los refuerza con ejercicios. Por

tanto, el estudiante no requiere del uso de ningún tipo de tecnología, por lo que el libro puede ser usado en cualquier momento y en cualquier lugar.



Figura 3. Portada del libro mágico.

Índice	
1	Vectores.....4
1.1	Sistema de Coordenadas Cartesianas Derecho.....4
1.2	Vectores libres equivalentes.....4
1.3	Adición vectorial de vectores libres.....5
1.4	Problemas resueltos.....5
2	Representación cartesiana de vectores.....6
2.1	Vector unitario.....9
2.2	Vectores cartesianos.....9
2.3	Representación cartesiana de vectores en el plano.....9
2.4	Representación cartesiana de vectores en el espacio 3D.....10
2.5	Problema inverso.....10
2.6	Problemas resueltos.....11
3	Vectores de posición.....12
3.1	Problemas resueltos.....13
4	Operaciones con vectores.....15
4.1	Suma y resta de vectores.....15
4.2	Producto punto.....15
4.3	Producto cruz.....16
4.4	Problemas resueltos.....17

Figura 4. Índice del libro mágico.

3.2 La aplicación de gráficas computacionales

Se consiguió desarrollar una aplicación, llamada PhysAR (Física con AR), que pudiera ser usada por los estudiantes para editar y visualizar contenido virtual de vectores 2D/3D. Dicha aplicación se desarrolló como un *framework*, con el propósito de ser usada también para desplegar el contenido de AR del libro mágico. La Figura 5 muestra la aplicación en acción. A través de la interfaz de la aplicación (derecha en la Figura 5), el estudiante puede editar un vector 2D/3D en coordenadas rectangulares o polares, puede realizar transformaciones sobre el vector (traslación, rotación o escalamiento), o bien realizar transformaciones de la cámara virtual

(acercamiento, alejamiento, rotación, paneo, etc.). Además, mediante el uso de la interfaz superior (ver Figura 5), el estudiante puede visualizar distintas representaciones de las componentes rectangulares del vector, de su vector unitario, la proyección del vector en los planos cartesianos, etc. Para la implementación de PhysAR se utilizó Visual Studio y OpenGL como biblioteca gráfica.

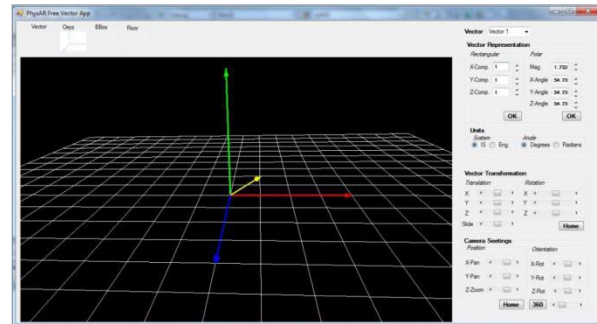


Figura 5. Aplicación PhysAR en acción.

3.3 El libro mágico

Para la implementación del libro virtual se utilizó ARToolkit [8], la cual es una biblioteca de AR que se puede usar junto con OpenGL para el desarrollo de aplicaciones con AR. Para el contenido virtual se utilizó el *framework* de PhysAR. La tecnología de ARToolkit requiere agregar etiquetas o marcadores en el libro físico, como se muestra en la Figura 6.

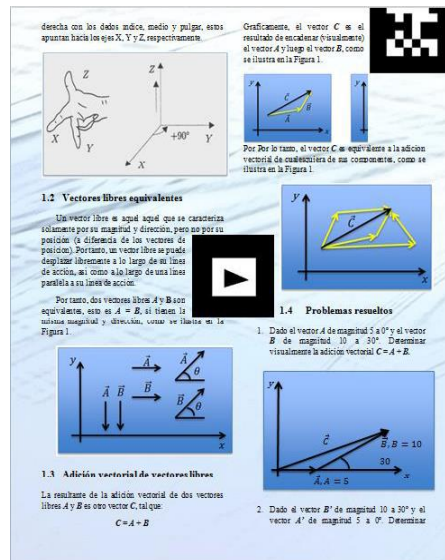


Figura 6. Marcadores de AR embebidos en el libro físico. Marcador central usado para lanzar el contenido de AR. Marcador superior derecha usado para identificar el tema.

La Figura 7 muestra una imagen del libro mágico en acción. Aquí los estudiantes pueden

enriquecer su aprendizaje, ya sea a través de acceder a páginas Web estáticas o dinámicas, videos de terceros, aplicaciones interactivas como PhysAR, o bien interactuar directamente con el libro físico a través de actividades o escenarios de AR.

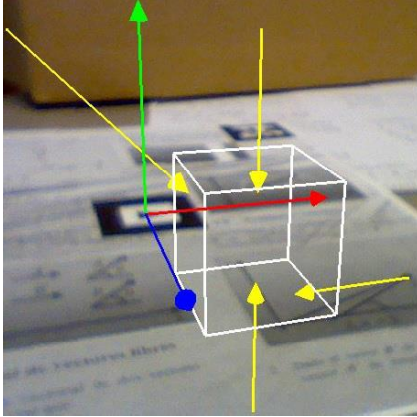


Figura 7. Libro mágico en acción.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos durante la evaluación del libro mágico con estudiantes reales.

4. Resultados

La evaluación del libro mágico se dividió en tres fases, en cada una de la cuales participaron estudiantes del curso de Física I de primer semestre, correspondiente a tres semestres consecutivos (diferentes alumnos en cada semestre). En este documento se presentan resultados de las dos primeras fases. En el primer semestre (Enero-Mayo, 2014) se evaluó el libro físico, en el segundo semestre (Agosto-Diciembre, 2014) se evaluó la aplicación gráfica, y en el tercer semestre (Enero-Mayo, 2015) se espera evaluar el libro mágico en su conjunto (libro físico más aplicación gráfica).

En la evaluación del libro físico participó un grupo de 28 estudiantes, cada uno de los cuales lo utilizaron como libro de texto durante el tema de vectores. Al final del tema, se les pidió a los estudiantes sus comentarios por escrito. Un resumen de estos comentarios se presenta más adelante en esta misma sección.

En la evaluación de la aplicación gráfica participaron un total de 15 estudiantes. En este caso, se les pidió a los estudiantes descargar la aplicación, experimentar con ella durante el tema de vectores y resolver ejercicios a través de la aplicación. Al final de la actividad, se les pidió a los estudiantes sus comentarios por escrito acerca de su experiencia con el uso de la

aplicación. Los resultados también se presentan más adelante en esta misma sección.

4.1 Evaluación del libro físico

El libro físico (ver Figura 3) tuvo, en general, un buen recibimiento por parte de los estudiantes, quienes consideran que los contenidos y ejercicios del libro son claros y adecuados. A continuación se presentan algunos de los comentarios realizados por estudiantes acerca de su experiencia con el uso del libro físico:

“El cuaderno explicativo de vectores nos muestra un repaso de los temas vistos a lo largo del primer parcial. Dicho informe contiene definiciones, ejemplos, ejercicios y sus respuestas. Es una gran herramienta de estudio y repaso ya que las explicaciones son claras y precisas. También podemos encontrar las fórmulas necesarias en este cuadernillo. La observación que hago es que tal vez deberían de explicar más a fondo cual es el procedimiento que utilizaron para llegar al resultado, pero lo demás me pareció muy claro”.

“En el cuaderno explicativo que se subió a BlackBoard se muestra un repaso de los temas que se han visto a lo largo de este periodo. Este contiene definiciones, ejemplos, ejercicios a resolver y sus respectivas respuestas. Me parece esencial que hayan explicado este tema ya que es lo básico para poder entender temas posteriores en física. Me pareció una gran herramienta de apoyo, ya que se puede leer cuantas veces sea necesario este trabajo hasta lograr entender. Las explicaciones son claras y no utilizan palabras tan complicadas. Se muestran las fórmulas necesarias para resolver los problemas que se muestran ahí, y se explican cada una de estas. En general, considero que funciona muy bien como apoyo, ya que si algo no te quedó claro puedes recurrir a este documento. Mi única sugerencia sería que se explique cómo se resolvió uno de los problemas ya resueltos, para poder tomar ese de base y así recurrir a este si te atorras en algo”.

“El cuaderno contiene material muy bueno y lo explica de una manera muy sencilla y fácil de comprender yo pienso que es una gran herramienta de aprendizaje y comprensión de los temas básicos sobre vectores, también tiene muy buenos ejemplos con los cuales los alumnos como yo podemos practicar y reforzar los conocimientos aprendidos en clase”.

“Me parece una forma rápida y practica de repasar los temas vistos en clase con más

detenimiento, además de que posee una gran cantidad de ejemplos los cuales son bastante útiles al momento de repasar para el examen, sin mencionar que es una buena ayuda al momento de elaborar un formulario”.

“El cuaderno explica claramente los temas básicos para iniciar con la física, los vectores. Del entendimiento de estos conceptos básicos surgirá después problemáticas mucho más complejas que requerirá de la aplicación de estas bases. Es muy importante que se entregue este material a los alumnos ya que en muchos casos o todos inician con los mismos conocimientos y con estas ayudas pedagógicas el docente puede tener un punto de partida general para la clase. En lo personal, yo tuve que llevar Física remedial el semestre pasado, así que allí también revisamos cada uno de los tópicos del cuaderno, y por lo tanto puedo decir que la síntesis está muy bien realizada y cubre los temas con mucha coherencia y posee ejemplos que son fáciles de entender. También me gustaría compartir que siempre había tenido un par de confusiones en los temas de cosenos directores y proyecciones. Sin embargo, las explicaciones y los ejemplos que se muestran me ayudaron a despejar dudas. Es importante contar con este material a lo largo del semestre para revisar conceptos y también se nos facilitaría las clases con cuadernos con anotaciones semejantes con todos los tópicos por ver en el parcial, ya que muchas veces los textos no son tan explícitos como una síntesis bien redactada”.

“El cuaderno me pareció muy interesante y muy bueno, ya que con este me permitió tener acceso a unas definiciones de una manera más clara, unos conceptos que no entendía los pude entender gracias a que estaban aquí. Las representaciones gráficas que no me eran tan fáciles de entender en la clase y no me quedaban claras, pues gracias a que existe este archivo las pude visualizar mejor y me sirvió para estudiar mejor el material de trabajo y poder resolver algunos ejercicios de mis tareas. Ojala que en otras materias hicieran apoyos o trabajos como el que ustedes están haciendo nos serviría para reforzar lo que ya sabemos o para comprenderlo mejor”.

De los comentarios anteriores, podemos concluir que los estudiantes coinciden en que no todo es tecnología, ya que el “cuadernillo” (el libro físico) siempre lo pueden consultar, en cualquier momento y en cualquier lugar, sin la necesidad

del uso de tecnología. Además, los estudiantes consideran que cuando los contenidos están bien sintetizados y redactados, son de hecho, de gran utilidad (recordemos que acumulan años de experiencia de enseñanza), recomendando incluso su extensión a otras materias y cursos. Pero, ¿qué hay de las imágenes usadas en la representación de los vectores? Por ejemplo, el uso de perspectiva para representar vectores 3D como imágenes 2D puede ayudar. Sin embargo, como se argumentó en este trabajo de investigación, la visualización y comprensión de las propiedades de los vectores 3D se puede mejorar con el uso tecnologías computacionales, tales como las gráficas computacionales, y tecnologías de AR, cuyos resultados se presentan a continuación.

4.2 Evaluación de la aplicación gráfica

Al igual que el libro físico, la aplicación gráfica (ver Figura 5) tuvo un buen recibimiento por parte de los estudiantes. A continuación se muestran algunos de sus comentarios sobre si la aplicación gráfica les ayudó a visualizar y comprender mejor las propiedades de un vector 3D:

“Gracias a esto pudimos ver cómo es que era el vector en la tercera dimensión. Fue de mucha ayuda porque puedes observarlo de diferentes maneras”.

“Nos permitió verlo físicamente en 3D e interactuar con él, ya que te permite visualizar el vector y sus características”.

“Era más exacto que un simple dibujo, ya que puedes observar sus componentes”.

“No es lo mismo verlo en el papel a verlo cómo sería si lo tuviéramos enfrente. Mediante el software puedes experimentar las propiedades de los vectores”.

“Se representa de manera clara, ya que con el programa puedes jugar con el vector y verlo de diferentes ángulos”.

“Lo puedo visualizar desde varias perspectivas, y aunque el concepto ya lo entendía pero me ayudó a comprobar la magnitud o los ángulos de un vector”.

“Me dio una idea más real de lo que son los vectores, y porque cuando manipulas los vectores puedes ver los ángulos de diferentes maneras”.

De los comentarios recibidos, concluimos que 14 de los 15 estudiantes que participaron en la evaluación, encontraron que la aplicación les ayudó a visualizar y comprender mejor las propiedades de los vectores 3D y solo un estudiante no la encontró de utilidad, pero esto se debió más bien a cuestiones tecnológicas (dificultades de instalación y configuración de la aplicación). Por otra parte, la aplicación recibió críticas en cuanto a la plataforma de ejecución (sistema operativo), y la usabilidad de la interfaz gráfica. En la Figura 8 se muestra el momento en que se explica a los estudiantes la funcionalidad de la aplicación PhysAR.



Figura 8. Explicación a estudiantes de la práctica de vectores utilizando la aplicación PhysAR.

4.3 Evaluación del libro mágico

La evaluación del libro mágico en su conjunto (libro físico y aplicación gráfica) se llevará a cabo durante el semestre Enero-Mayo de 2015, a través de dos actividades de AR y con estudiantes reales. La primera actividad será realizada por el profesor y la segunda por parejas de estudiantes. La actividad del profesor tendrá el objetivo de ilustrar a los estudiantes el uso del libro mágico. La segunda actividad permitirá que parejas de estudiantes interactúen en escenarios con vectores. Por ejemplo realizando actividades de operaciones vectoriales, tales como: suma de vectores, producto punto y producto cruz, incluyendo la representación de un plano con dos vectores. El objetivo de la actividad es que los estudiantes interactúen entre sí y tomen ventaja de la interdependencia positiva que brinda el aprendizaje colaborativo.

5. Conclusiones

Se presentó una innovación educativa que puede ser usada por educadores y estudiantes para la enseñanza y aprendizaje de vectores, respectivamente. La innovación educativa, llamada libro mágico de vectores, se compone de un libro físico, el cual contiene contenidos

tradicionales del tema de vectores 2D/3D, una aplicación interactiva usada para la edición y visualización gráfica de vectores 2D/3D, así como contenido de AR, a través del cual los estudiantes pueden extender la funcionalidad del libro físico.

Los comentarios obtenidos de los estudiantes durante la puesta en marcha del prototipo creado, nos dan indicios de que tanto el libro físico como la aplicación gráfica les han ayudado a comprender mejor algunas de las distintas propiedades de los vectores 3D. Sin embargo, aún queda trabajo por realizar, ya que la evaluación se debe extender al libro mágico, también con estudiantes reales.

Como trabajo futuro se incluyen mejoras en la descripción de los problemas resueltos en el libro físico, mejoras en la interfaz de usuario de la aplicación gráfica PhysAR, así como brindar soporte de la aplicación en otros sistemas operativos. Por último, y no menos importante, agregar más actividades o escenarios de AR en el libro mágico.

6. Agradecimientos

Agradecemos al proyecto NOVUS la realización de este trabajo. A los departamentos de Ciencias Computacionales, y Ciencias Básicas de la EIAS, así como a la Escuela de Postgrado del Tec de Monterrey Campus Guadalajara el soporte brindado para su realización. Agradecemos también a los alumnos participantes en la puesta en marcha de las primeras dos etapas de este proyecto.

7. Referencias

- [1] I. Newton, and J. Colson. The Method of Fluxions and Infinite Series; with Its Application to the Geometry of Curve-lines. Translated from the Author's Latin Original Not Yet Made Publick. To which is Subjoin'd a Perpetual Comment Upon the Whole Work by J. Colson. (1736).
- [2] R. Grasset, A. Dunser, and M. Billingham. "The design of a mixed-reality book: Is it still a real book?." Mixed and Augmented Reality, 2008. ISMAR 2008. 7th IEEE/ACM International Symposium on. IEEE (2008).
- [3] B. Wolfgang, G. D. Westfall. University Physics with Modern Physics. McGraw-Hill Higher Education (2010).
- [4] J. Y. Aloimonos, "Perspective approximations". Image and Vision Computing 8.3, pp 179-192 (1990).

- [5] Z. Veide, V. Stroževa, M. Dobelis. "Application of Augmented Reality for Teaching Descriptive Geometry and Engineering Graphics Course to First-Year Students". In: Joint International Conference on Engineering Education & International Conference on Information Technology (ICEE/ICIT-2014): Conference Proceedings, Latvia, Riga, 2-6, pp.158-164 (2014).
- [6] A. Dünser, H. Kaufmann, K. Steinbugl, J. Gluck. "Virtual and augmented reality as spatial ability training tools." Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on Computer-human interaction: design centered HCI. ACM (2006).
- [7] R. Grasset, A. Dunser, M. Billinghurst. "The design of a mixed-reality book: Is it still a real book?." Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2008. 7th IEEE/ACM International Symposium on. IEEE (2008).
- [8] I. Kato, H. Poupyrev, M. Billinghurst, and I. Poupyrev. "ARToolkit user manual, version 2.33." Human Interface Technology Lab, University of Washington 2 (2000).