

Virtual Supply Chain: un enfoque de realidad enriquecida en educación

Alfredo Santana Reynoso, Gabriel Pruneda Dibildox, Edgar Santiago González, Jorge Rodríguez Tort
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Irapuato, Guanajuato, México
alfredo.santana@itesm.mx

Resumen

El presente artículo describe el uso de tecnologías de realidad aumentada y simulación en la enseñanza de temas relacionados con cadena de suministro a través del diseño de un laboratorio llamado *Virtual Supply Chain Lab*. En dicho laboratorio se puede llevar a cabo diseño de productos, empaques, estaciones de trabajo, distribución de instalaciones y simulación de operaciones. Adicionalmente se describen los componentes del laboratorio, los principales incidentes críticos acontecidos durante su diseño, las pruebas piloto realizadas con alumnos de licenciatura y la retroalimentación obtenida de parte de ellos. Finalmente se presenta un estimado de costos de instalar este laboratorio en un campus universitario y se sugiere un plan de capacitación para profesores interesados en aplicarlo en sus clases.

Palabras clave: simulación, realidad aumentada, cadena de suministro, tecnología educativa.

1 Introducción

La tecnología siempre ha buscado incorporar los avances científicos para la mejora de las actividades cotidianas. En el caso de la vida universitaria, se busca continuamente aplicar distintas tecnologías para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. En ese documento se explora el cómo utilizar de las tecnologías de virtualización y realidad aumentada en el aprendizaje de temas de cadena de suministro.

La virtualización implica el uso de software para mimetizar las mismas entradas, salidas y comportamiento que se pudiera esperar en un sistema físico real [1], por lo que se puede utilizar el ordenador para crear cadenas de suministro o sus componentes para que el alumno aprenda un concepto o practique una herramienta con el fin de desarrollar una competencia. Por otra parte, la realidad aumentada (AR) es la visualización en tiempo real de manera directa o indirecta del ambiente físico real que ha sido enriquecido o aumentado al agregarle información virtual generada por computadora [2], en otras palabras, hay al menos un elemento ligado con los elementos virtuales.

En nuestra opinión, tanto la virtualización como la realidad aumentada son herramientas que pueden apoyar al proceso de enseñanza-aprendizaje, y no un sistema de enseñanza *per se*. Por lo que definimos el concepto de realidad enriquecida en educación como el conjunto de herramientas de virtualización y realidad aumentada que asisten en el cumplimiento de un objetivo específico de aprendizaje en un contexto particular.

Este documento presenta primeramente los objetivos del grupo de investigación con respecto a la implementación de tecnologías de realidad

enriquecida en la enseñanza de temas de cadena de suministro, describiendo el proceso de evaluación y selección de la tecnología. La siguiente sección explica las tecnologías seleccionadas que pasaron a probarse en prácticas con alumnos de nivel licenciatura. Posteriormente se describen los resultados aprendidos de dichas prácticas y con base en lo aprendido se presenta el diseño de un laboratorio en el cual se puedan llevar a cabo el diseño y ejecución de estas actividades por parte de otros académicos y estudiantes. Finalmente se presentan las conclusiones y futuras áreas de trabajo en este tema.

2 Objetivos de la Innovación

Nuestra propuesta busca integrar tecnologías existentes de virtualización y realidad aumentada para su aplicación en la enseñanza de temas de cadena de suministro. Todo ello dentro de un ambiente de alta tecnología en donde se incluyan los dispositivos y aplicaciones más avanzados del mercado a un costo alcanzable para los campus y con un esquema de capacitación y transferencia factible.

3 Evaluación y Selección de la Tecnología

Primeramente se buscó un software de realidad aumentada que fuera de fácil uso, bajo costo y que respondiera a las necesidades de creación de contenido para un profesor universitario. Se seleccionó el software *AR Media* de la compañía *Inglobe Technologies*. El software cuenta con un lector gratuito llamado *AR Media Player*, el cual es de distribución gratuita y tiene versión para *PC*, *Mac* e *iOS*. Para el desarrollo de contenido la compañía distribuye diversos software en formato de *plug in* que pueden trabajar con los principales software de

Tabla 1: Pruebas con alumnos.

Título de la práctica	Fecha	Materia (carrera/semestre)	Tema	Alumnos
Simulación para teoría de colas	11/abril/13	Investigación de Operaciones II (IIS/6°)	Teoría de colas	11
AR para diseño de instalaciones	22/abril/13 29/abril/13	Diseño de Instalaciones y Manejo de Materiales (IIS/4°)	Proyecto final	13
AR en sesiones virtuales	4/abril/13	Sistemas Logísticos (IIS/9°)	Diseño de sistemas de almacenamiento	22
Simulación para manufactura esbelta	23/abril/13	Administración de Operaciones (LAE/6°)	Manufactura esbelta	13

diseño en 3D, lo cual facilita flexibilidad para que cada profesor utilice el software de diseño en 3D que más le convenga. El costo de las licencias varía, sin embargo la compañía tiene programas para proporcionar licencias académicas gratuitas para explorar el software. Nuestro equipo fue beneficiado con una de estas licencias en una etapa temprana del proyecto.

Nuestro equipo utilizó el software *Google Trimble Sketchup*, software que tiene diversas ventajas, ya que se puede aprender fácilmente sin tener conocimientos previos de dibujo computarizado. En diversas ocasiones nuestros alumnos fueron capaces de aprender el software de manera independiente a través de videos disponibles en YouTube y de actividades diseñadas para practicar los conocimientos adquiridos. Adicionalmente existe un repositorio libre de objetos tridimensionales llamado *3D Warehouse*, donde se pueden publicar y compartir diseños. *Google Trimble Sketchup* tiene una licencia gratuita bastante amplia, la cual es compatible con el *plug in* de *AR Media* para generar fácilmente elementos de realidad aumentada. En nuestra experiencia lo que limita el número de elementos de realidad aumentada que se pueden utilizar en un solo archivo es la capacidad de la computadora y no el software. La única excepción es la versión de *iOS* que solamente permite un archivo de realidad aumentada a la vez. Para generar contenido de realidad aumentada en formatos compatibles con el simulador propuesto se necesita la licencia completa de *Google Trimble Sketchup*, la cual es de costo medio. Nuestra recomendación es trabajar con la licencia libre pero tener un número selecto de licencias completas para generación de contenido en el *Supply Chain Lab*.

Para la parte de simulación elegimos el software de simulación en 3D *FlexSim*, ya que permite la construcción de modelos de simulación tridimensionales con un mínimo de entrenamiento, además de contar con herramientas auxiliares de análisis estadístico y poder generar registros detallados a nivel de transacción en formatos compatibles con aplicaciones de office y potentes elementos de análisis en tiempo real y edición incluso mientras la simulación se encuentra en operación. Los elementos tridimensionales pueden incorporarse al igual que los marcadores para realidad aumentada lo cual implica el potencial para mezclar ambas

tecnologías. La compañía cuenta con un distribuidor para México y software de varias licencias a precio especial para uso académico la cual incluye la capacitación básica en el uso del mismo.

Finalmente se exploró un software que fuera capaz de manipular todas las interfaces sin el uso del teclado ni mouse. Inicialmente se hicieron pruebas con el equipo *Ms Kinect*, pero los resultados para uso dentro del aula emulando un mouse no fueron satisfactorios, principalmente porque los movimientos requeridos para hacer el *click* y el *doble click* eran demasiado bruscos y poco estéticos. A petición nuestra el alumno Helge Ruffer desarrolló una aplicación utilizando el software *Space Cam* que daba mejores resultados, sin embargo, ya en las pruebas con alumnos las pantallas táctiles superaban por mucho la interacción que se puede lograr a distancia con un dispositivo óptico.

Una vez que seleccionamos el software nos dimos a la tarea de diseñar contenidos, actividades con alumnos y hacer pruebas con los equipos que teníamos disponibles en el campus. Si bien el software funciona de manera adecuada en la mayor parte de los equipos convencionales, su velocidad era bastante limitada, lo cual implica una restricción en el potencial de la tecnología. Lo más recomendable es contar una tarjeta de video *NVIDIA* de 1.5GB o equivalente, esto libera capacidad del procesador y la velocidad que se obtiene permite un funcionamiento superior. El procesador recomendado es de 3.9GHz con 8MB en *RAM* y un procesador *Intel i5* o superior.

Otra restricción del hardware fue el uso de cámaras de para *PC* de escritorio convencionales, ya que aunque éstas son capaces de identificar los marcadores de realidad aumentada, su capacidad disminuye a cierta distancia, y en ocasiones confunden un marcador por otro. Para evitar dicho problema se recomienda utilizar una cámara de alta definición, nosotros utilizamos una *Microsoft Lifecam Cinema* de 720p HD que se puede conseguir fácilmente y que permite un reconocimiento superior de los marcadores a mayor distancia y disminuye el potencial de equivocación al reconocer el marcador no adecuado.

4 Pruebas con alumnos

Una vez que se llevaron a cabo pruebas piloto por parte del equipo se decidió llevar a cabo pruebas en el

salón de clases. Para ello se llevaron a cabo cuatro sesiones según se muestra en la Tabla 1. Se buscó que las prácticas se llevaran a cabo en materias distintas, con el objetivo de minimizar la oportunidad de que un alumno fuera expuesto a una práctica dos veces. A continuación se describe brevemente cada práctica y los aprendizajes obtenidos.

4.1 Simulación para Teoría de Colas

Como parte de la clase de Investigación de Operaciones II con alumnos de sexto semestre de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas se llevó a cabo una práctica con el fin de reforzar el tema de Teoría de Colas utilizando el simulador. Adicionalmente se evaluaron tres tipos diferentes de interfaces para utilizar el simulador: tableta con Windows 8, monitor táctil de veintitrés pulgadas y manejo remoto mediante el software desarrollado en *Cam Space*.

Primeramente se había cubierto en clase el tema de líneas de espera con varios servidores, tiempo entre llegada exponencial y tiempo de servicio exponencial (modelo M/M/s). Para la siguiente sesión se diseñó una hoja de cálculo en Ms Excel para que los alumnos pudieran calcular fácilmente los tiempos de espera, las longitudes de fila y la ocupación de los servidores en promedio. Por otro lado se utilizó el simulador para que pudiera llegar a los mismos resultados mediante simulación. Además de ver que el resultado numérico obtenido mediante las fórmulas puede llegarse calculando el promedio de diversas corridas con semillas aleatorias diferentes, los alumnos comprendieron los conceptos de estado estable. Dentro de la práctica se les pedía que calcularan corridas cortas, las cuáles nunca llegaban a los valores obtenidos en la hoja de cálculo. También pudieron apreciar que cuando el tiempo entre llegadas es menor que el tiempo de atención la fórmula matemática no puede aplicarse, ya que la longitud de la fila tiende a infinito. Sin embargo, al utilizar el simulador pueden apreciar la tasa de crecimiento de la cola y darse cuenta del ritmo de crecimiento de la misma. Así existen conceptos que son fácilmente demostrables en el simulador y que son complejos de explicar mediante las expresiones matemáticas.

En cuanto a las interfaces evaluadas la que obtuvo mejor resultado fue la pantalla táctil de veintitrés pulgadas ya que permitía un fácil manejo junto a la potencia del procesador que además contaba con tarjeta de video. El segundo lugar fue la tableta, ya que al tener un tamaño menor era más complicado manipular los controles, aunque puede hacerse acercamientos, las limitantes del procesador hacen que la velocidad de reacción sea considerablemente menor. En último lugar quedó la manipulación de la computadora mediante el software que se desarrolló mediante *Cam Space*, ya que aunque se pudo manipular el simulador, se consideró que era mucho

más cómodo utilizar la pantalla táctil ya sea del monitor táctil o de la tableta.

4.2 AR para Diseño de Instalaciones

El proyecto final de la clase de Diseño de Instalaciones y Manejo de Materiales incorporó una presentación final a través de la tecnología de realidad aumentada. La materia se imparte a alumnos de cuarto semestre de la carrera de ingeniería industrial. Para poder llevar a cabo la implementación de la tecnología se llevaron a cabo tres etapas: Primeramente los alumnos aprendieron de manera autodidacta a través de tutoriales disponibles en *YouTube* el uso de *Google Trimble Sketchup* para diseño tridimensional. Los videos sugeridos tienen una duración combinada de una hora y se les solicitó entregar una primera versión de su distribución de planta en tercera dimensión como evidencia de la competencia desarrollada. Posteriormente los alumnos presentaron ante sus compañeros el modelo desarrollado y recibieron retroalimentación del profesor, quien al final de la sesión les explicó los pasos para ligar el modelo diseñado a un marcador de realidad aumentada a través de *AR Media Google Trimble Sketchup Plug in*. Durante la semana siguiente los alumnos acudieron al *Virtual Supply Chain Lab* para realizar el procedimiento visto en clase. Finalmente los alumnos fueron capaces de presentar su proyecto final ante sus compañeros utilizando un marcador y una cámara para computadora de alta definición para hacer recorridos y mostrar distintos detalles de su proyecto final.

4.3 AR en Sesiones Virtuales

Otra aplicación que se decidió explorar fue el uso de realidad aumentada para crear una presentación de diapositivas tridimensionales. Para ello se seleccionó el grupo de Sistemas Logísticos de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Industrial de Campus San Luis Potosí. Se seleccionó un grupo de un campus distinto al de los autores para poder utilizar la herramienta *Elluminate* de la plataforma *Blackboard* y evaluar la factibilidad de utilizar esta tecnología en sesiones virtuales.

Para desarrollar la presentación de diapositivas con realidad aumentada se importaron a un archivo de *Google Trimble Sketchup* una serie de elementos tridimensionales relacionados con el tema a presentar. En nuestro caso se eligió el tema de sistemas de almacenamiento para centros de distribución. Algunos elementos fueron desarrollados por el equipo mientras que otros fueron importados y editados del repositorio de materiales libre *Google 3D Warehouse*. Una vez que todos los materiales estaban en un solo archivo se creó un marcador por diapositiva y se vinculó cada elemento a un marcador distinto utilizando *AR Media Google Trimble Sketchup Plug in*, exportando el resultado de este proceso a un archivo ejecutable de *AR Media Player*. El resultado es un archivo que

puede leerse de manera gratuita en cualquier computadora que tenga instalado el *AR Media Player*. Finalmente se probó con la cámara que fue capaz de cambiar los objetos tridimensionales conforme se cambiaba el marcador mostrado.

Durante el proceso descrito se encontraron dos limitaciones tecnológicas, primeramente la velocidad para reconocer el marcador está vinculada con la capacidad del procesador y la existencia de una tarjeta de video, motivo por el cual se requiere el hardware descrito en la Sección 3 de este artículo para un desempeño superior. Posteriormente es necesario que la conexión de Internet sea lo suficientemente rápida para pasar video, de lo contrario no se podrá apreciar el producto resultante por parte de los alumnos.

Una idea que nos pareció bastante interesante para desarrollar es generar una serie de marcadores que puede tener cada profesor y entregarlos junto con la dirección para instalar el *AR Media Player* de manera gratuita y algunos archivos de prueba. Así cada profesor puede usar los mismos marcadores escribiendo al reverso en una tabla el nombre del archivo, el objeto que proyecta y la clase y el tema para el cual sirve. Con el tiempo se podría tener un repositorio de elementos de realidad aumentada que pudieran compartirse entre los distintos campus del sistema.

4.4 Simulación para Manufactura Esbelta

Dentro de la clase de Administración de Operaciones para alumnos de sexto semestre de Licenciado en Administración de Empresas se decidió probar la herramienta de simulación para explicar algunos conceptos de Manufactura Esbelta. Para ello se desarrolló una simulación en tercera dimensión de un sistema productivo que modela el suministro de forros para asientos en una línea automotriz. La demanda de los asientos es aleatoria y el objetivo es minimizar los paros de línea y los inventarios de asientos. La simulación cuenta con elementos gráficos de desempeño en tiempo real y los alumnos pueden ajustar las políticas de administración de inventarios. Primeramente simulan un sistema de empujar en donde se producen los asientos con distintas características, sin embargo las variaciones aleatorias de la demanda provocan paros en la línea si se mantienen inventarios bajos o costos excesivos si se mantienen inventarios altos. Posteriormente se les explica las características de un sistema jalar, en este caso el sistema *Just in Time* con la herramienta de *Kanban* y se modifican los parámetros del simulador para utilizar este tipo de abastecimiento. El resultado que observa el alumno es que virtualmente elimina los paros de línea operando con inventarios bajos.

4.5 Retroalimentación de los Alumnos

Al final de cada una de las sesiones se pidió a los equipos discutir y expresar sus opiniones sobre la tecnología utilizada en la práctica a través de un cuestionario abierto. Todos los equipos respondieron afirmativamente que la tecnología utilizada les ayuda a entender los conceptos de la clase y que su uso es sencillo. Los equipos también opinaron que el potencial del desarrollo de la tecnología en educación es amplio.

Entre los aspectos positivos que más llamaron la atención de los alumnos fue el de ver en práctica la realidad aumentada, en donde pueden ver un objeto en ocasiones diseñado por ellos mismos en tercera dimensión proyectado a través de un marcador. También comentaron que la simulación de los conceptos les ayuda a la comprensión de los mismos al poder visualizar el comportamiento de un sistema y no solamente resultados de fórmulas matemáticas. Los alumnos prefieren el uso de pantallas táctiles y se inclinan por incorporar gráficas y estadísticas de elementos clave del sistema durante la simulación. Finalmente, les llama la atención lo dinámico de la visualización ya que les permite experimentar y explorar por cuenta propia.

Entre los aspectos negativos señalan que les cuesta trabajo enfocar el marcador con la cámara, que la pantalla táctil de la tableta es demasiado pequeña y dificulta la interacción con el simulador, que prefieren el uso de pantallas táctiles al del software desarrollado en *Cam Space*, que el procesador de la tableta es demasiado lento para utilizar simulación y un equipo señaló que diseñar en *Google Trimble Sketchup* es “demasiado tedioso”.

5 Incidentes Críticos durante el Diseño

Como cualquier proyecto de exploración de tecnología se tuvieron diversos incidentes críticos que en ocasiones se lograron superar, pero otros en los que se decidió no continuar explorando y seguir por otra línea. Por ejemplo, para manejar la interface se probó con un guante basado en un control *Nintendo Wii* del cual se tiene un prototipo, sin embargo era necesario calibrar en cada ocasión e invertir en mejorar estéticamente el prototipo actual, por lo que se abandonó. También se logró manejar el software a través de un control de *Ms Kinect*, sin embargo los movimientos que detecta el dispositivo son más apropiados para videojuegos que para el salón de clases.

Por otra parte hubo incidentes que sí se lograron superar y llegaron a feliz término, como el problema detectado por los alumnos en cuanto al temblor de la cámara, para ello se desarrolló un soporte basado en el diseño de una cámara de escritorio que es capaz de mantener la cámara en una posición y desplazarla a

diferentes posiciones con cinco grados de libertad. También se detectó que cuando se manejan superficies reflejantes como pantallas para el uso de marcadores se pueden reflejar la luz natural o de alguna lámpara disminuyendo o evitando que se detecte el marcador. Para ello se recomendaron salones especiales que no tengan luz en el área donde se pondrán los marcadores o utilizar marcadores opacos como pueden ser papel o cartón.

En cuanto a cuestiones tecnológicas se detectaron problemas de velocidad en computadoras sin tarjetas de video y en tabletas, por lo que se recomienda para el laboratorio el hardware descrito en la Sección 3 de este artículo. Para uso remoto se sugiere probar a través de video de media resolución el ancho de banda antes de utilizar la realidad aumentada.

6 Transferencia de la Tecnología

El costo estimado para tres estaciones de trabajo colaborativo del *Supply Chain Lab* es de veinte mil dólares, los cuales incluyen el hardware y las licencias de software requeridas para el desarrollo de aplicaciones. Para desarrollar el capital humano es necesario un curso que incluya tres módulos: i. Fundamentos de diseño en tercera dimensión (4 horas), ii. Introducción a la realidad aumentada (4 horas) y iii. Principios de simulación de procesos (16 horas). Con esta capacitación que se puede tomar tiempo completo en tres días consecutivos se puede desarrollar el capital humano para comenzar con el diseño de contenidos del laboratorio en diversas materias.

7 Conclusiones

Las tecnologías de realidad aumentada y simulación por computadora tienen un alto potencial de desarrollo en el área académica, ya que mejoran la comprensión de conceptos al ser visuales, dinámicas y atractivas para los alumnos. Para implementar esta tecnología en el salón de clases es necesario contar con el software y hardware adecuado, además de una capacitación que brinde las bases para el desarrollo independiente de contenido. Sin embargo, el aspecto más importante para contar con el enfoque de realidad enriquecida en educación es contar con una actividad que además de utilizar la tecnología cuente con un claro objetivo de aprendizaje y con competencias específicas a desarrollar en un contexto específico.

8 Futuro Trabajo

Existen dos aspectos claves para el éxito de este laboratorio: el desarrollo de contenidos y la aplicación en distintos cursos de campus seleccionados. Durante los próximos meses el equipo continuará trabajando en el diseño e implementación de prácticas para las clases de Sistemas Logísticos, Investigación de Operaciones, Simulación y el Laboratorio de Diseño y Optimización de Sistemas Productivos en los campus

Irapuato, Querétaro y San Luis Potosí. Conforme se vayan implementando actividades relevantes de aprendizaje colaborativo el uso del laboratorio se irá difundiendo en la comunidad del Tec de Monterrey de manera natural.

9 Reconocimientos

Nuestro grupo de trabajo quiere agradecer a Carlos Astengo, Víctor Gutiérrez, Norma Tapia, Oscar Delgado, Javier Benavides, Arturo Ramos, Arturo Santillán, Araceli Cisneros, Fátima Gallardo, Francisco Moctezuma, Alejandro Ramos y Gustavo Gutiérrez por su apoyo en la dotación de recursos, asesoría, seguimiento y administración del proyecto.

A todos los alumnos involucrados de campus Irapuato y campus San Luis Potosí por su innovación, tenacidad y espíritu emprendedor. Un agradecimiento especial al alumno Helge Ruffer por su colaboración en este proyecto.

10 Referencias

- [1] M. Pearce, Z. Sherali, y H. Ray “Virtualization: Issues, security threats, and solutions”, *ACM Computing Surveys (CSUR)*. Vol. 45 No. 2. (2013).
- [2] B. Fuhr, *Handbook of Augmented Reality*, Springer, Berlin (2011).