

Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores

Daniel Cantón Enríquez*
 J. Jesús Arellano Pimentel**
 Miguel Ángel Hernández López***
 Omar Santiago Nieva García****

RESUMEN

Los sistemas de realidad virtual inmersivos tienen una creciente relevancia en el ámbito educativo como herramientas didácticas que motivan el aprendizaje a través de dos conceptos clave: la inmersión y la interacción. En este documento describimos el uso de sistemas de realidad virtual en la educación y tomamos como caso de estudio un sistema de realidad virtual inmersivo 3D con interacción natural de usuario desarrollado con el propósito de facilitar la inspección de aerogeneradores con fines didácticos. El sistema sugerido busca la convergencia tecnológica de equipos de visualización, adquisición de información y software de gráficos. Para lograrlo, seguimos la metodología de desarrollo de software basado en componentes de Pressman. Los resultados cualitativos de una primera evaluación al sistema indican que la propuesta permite experimentar la realidad virtual inmersiva y ofrece una gran similitud al entorno real, con la posibilidad de interactuar por medio de gestos y movimientos corporales. Esto contribuye a motivar el aprendizaje y fomentar el interés de los usuarios en practicar con esta tecnología. Además, la convergencia tecnológica entre los equipos de visualización, interacción y software gráfico permite dar un paso adelante en el desarrollo de este tipo de herramientas didácticas.



Palabras clave

Realidad virtual inmersiva, tecnológica educativa, ambientes virtuales de aprendizaje, herramientas virtuales de aprendizaje

* Ingeniero en Computación. Becario del proyecto P08 del CEMIE-Eólico, Universidad del Istmo, campus Tehuantepec. México.

** Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Profesor-investigador en la Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, adscrito a la carrera de Ingeniería en Computación. México.

*** Doctor en Ingeniería Eléctrica. Profesor-investigador en la Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, adscrito a la División de Estudios de Posgrado. México.

**** Maestro en Ciencias de la Computación. Profesor-investigador en la Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, adscrito a la carrera de Ingeniería en Computación. México.

Didactic use of immersive virtual reality with NUI focused on the inspection of wind turbines

Abstract

Nowadays immersive virtual reality systems have a growing relevance in educational environments as tools to encourage learning through two important keys concepts: Immersion and interaction. This paper describes the use of virtual reality systems in education, taking as a case study an immersive 3D virtual reality system with NUI developed for the purpose of facilitating the inspection of wind turbines for didactic purposes. The proposed system searches technological convergence of visualization devices, data acquisition tools and graphics software. To achieve this system a software development methodology of Pressman was followed. The qualitative results of a first evaluation at the system indicate that the proposal allows an immersive virtual reality experience offering a great similarity to the real environment, with the ability to interact through gestures and body movements. This helps to motivate learning and stimulate interest in practicing with this technology by users. Moreover, achieved technological convergence between visualization devices, interaction tools and graphics software, allows us to make a step forward in the development of this type of teaching tools.



Keywords

Immersive virtual reality, educational technology, virtual learning environments, virtual educational tools

INTRODUCCIÓN

Hoy, los medios de enseñanza convencionales están siendo complementados con mayor frecuencia por sistemas de realidad virtual 3D dado su potencial didáctico (Gisbert y Esteve, 2013). Esto se debe a que los sistemas de realidad virtual, comparados con la enseñanza tradicional, e incluso con otras aplicaciones informáticas de propósito didáctico, brindan al usuario un entorno visual en tres dimensiones que es altamente

interactivo y muy cercano a la realidad; todo ello, a través de dos componentes clave: la inmersión y la interacción (Flores, Camarena y Ávalos, 2014). Para Freina y Ott (2015), la inmersión, interacción y participación de los usuarios en la narrativa, como principios básicos de la realidad virtual, ofrecen un potencial muy alto en la educación al hacer el aprendizaje más motivador y atractivo.

De acuerdo con Springer (2008), la inmersión se puede dividir en varios tipos con características y objetivos que deben cumplirse para que un

sistema sea considerado inmersivo. En este sentido, un sistema de realidad virtual inmersiva busca que el usuario pierda contacto con la realidad al percibir de manera exclusiva los estímulos del mundo virtual. Sin embargo, la inmersión lograda hasta ahora en los sistemas de realidad virtual se restringe solo a la inmersión espacial, es decir, la percepción de estar físicamente presente en un mundo virtual (Freina & Ott, 2015). Slater (2009) distingue dos formas de experimentar la realidad virtual inmersiva: un casco de realidad virtual HMD (acrónimo del inglés *head-mounted display*) y un ambiente tridimensional tipo cueva (del inglés *cave*).

El casco HMD se coloca justo frente a los ojos para centrarse en la pantalla sin distracciones; contiene un sensor magnético interno que detecta el movimiento de la cabeza de los usuarios; así, cuando el usuario gira su cabeza, los gráficos que aparecen pueden reflejar el punto de vista cambiante, lo que permite una exploración visual natural del medio ambiente (Springer, 2008). El ambiente CAVE se compone de cuatro o seis paredes de casi 3m³, las

cuales funcionan como pantallas de proyección estéreo. Las imágenes se determinan como una función de seguimiento de la cabeza de manera que, al menos respecto al sistema visual, los participantes pueden moverse físicamente a través de un espacio limitado y orientar su cabeza en forma arbitraria para ser capaces de percibir. Por lo regular, el audio es entregado por un conjunto de altavoces en posiciones discretas alrededor del CAVE (Olguín, Rivera y Pozas, 2008).

Tradicionalmente, los medios de interacción para los sistemas de realidad virtual han sido los convencionales (teclado, ratón y *joystick*). No obstante, la tendencia actual se centra cada vez más en incorporar formas más naturales de interacción, como el tacto, el habla, los gestos, la escritura a mano y la visión; esto se conoce como interfaces naturales de usuario (Ballmer, 2011). La integración de las interfaces naturales de usuario con los entornos de realidad virtual 3D posibilitan al usuario interactuar con los objetos virtuales de forma muy similar a como lo haría con los objetos reales (Kaushik & Jain, 2014); en este sentido, la interacción a través de gestos es una de las formas con mayor auge.

La tecnología de inmersión e interacción utilizada en los sistemas de realidad virtual 3D permite superar obstáculos didácticos presentes en temas que encierran, por su naturaleza, situaciones de peligro o riesgo potencial para los estudiantes (Flores *et al.*, 2014); por ejemplo, se pueden conocer lugares de difícil acceso o peligrosos de forma fácil y segura sin la necesidad de desplazarse a ellos físicamente. En particular, en el sector educativo, en diversas disciplinas existe la necesidad de visitar los centros donde se llevan a cabo las actividades laborales con el objetivo de reforzar el aprendizaje. En el caso del sector

La integración de las interfaces naturales de usuario con los entornos de realidad virtual 3D posibilitan al usuario interactuar con los objetos virtuales de forma muy similar a como lo haría con los objetos reales (Kaushik & Jain, 2014)

eólico, resulta de gran relevancia conocer las instalaciones e infraestructura de un parque eólico, así como los elementos que componen un aerogenerador. Diferentes circunstancias originan que esta tarea se torne complicada; las principales son: por cuestiones de seguridad, el parque no debe estar en operación; por restricciones de confidencialidad de la industria, no se puede acceder a todas las instalaciones; y visitar un parque eólico implica, en general, viajar largas distancias desde los centros educativos, lo cual, a su vez, causa gastos de traslado.

En este orden de ideas, para la formación de recursos humanos en el sector eólico, la realidad virtual 3D se presenta como una modalidad educativa viable que permite mostrar los elementos que intervienen en el proceso de generación de energía, además de otros beneficios inherentes a los sistemas de realidad virtual, como:

- Se evita el riesgo de electrocución al estar físicamente cerca o dentro de un aerogenerador (Hernández, 2016).
- También se evita el gran peligro que representa subir a la altura de los aerogeneradores actuales, la cual fluctúa entre los 80-150 metros (Hernández, 2016).
- No existe el problema de la compleja localización de los parques eólicos y, en algunos casos, de difícil acceso, alejados de los servicios de emergencia (Tesicnor, 2014).
- No se infringe el secreto industrial de los parques eólicos al utilizar modelos genéricos; además, es posible realizar actividades virtuales tantas veces como se requiera (Trujillo, 2016).

En este artículo se describe un sistema de realidad virtual inmersiva 3D de uso

Para la formación de recursos humanos en el sector eólico, la realidad virtual 3D se presenta como una modalidad educativa viable que permite mostrar los elementos que intervienen en el proceso de generación de energía

didáctico con interacción natural de usuario. Para lograr la completa inmersión visual, se ha empleado un casco de realidad virtual HMD, así como el reconocimiento de gestos corporales para la interacción natural de usuario. Ello está enfocado a la inspección de aerogeneradores con el objetivo didáctico de reforzar el aprendizaje de los elementos que intervienen en el proceso de generación de energía eólica. La aplicación de este sistema de realidad virtual inmersiva será una herramienta de apoyo didáctico para los estudiantes de la maestría en Ciencias en Energía Eólica de la Universidad del Istmo, en particular en las asignaturas Introducción a la tecnología de los aerogeneradores y Seminario de tecnología de los aerogeneradores, al permitir inspeccionar el exterior e interior de un aerogenerador y los elementos que lo integran.

TRABAJOS RELACIONADOS

Los sistemas de realidad virtual han sido utilizados en mayor o menor medida en diversos sectores: entretenimiento, turismo, industrias pesadas (refinerías, minas),

Freina y Ott (2015) señalan que la principal motivación para el uso de la realidad virtual inmersiva en la educación y el entrenamiento es brindar la oportunidad de experimentar con situaciones en las cuales el acceso físico es difícil o imposible

energías renovables y educación, solo por citar algunos. En este artículo son de especial interés los trabajos referentes a los sectores educativo y eólico.

El estudio realizado por Gisbert y Esteve (2013) sobre el potencial educativo de los entornos de realidad virtual 3D, como Second Life u OpenSimulator, a través de dos experiencias educativas centradas en el estudiante, en línea con otras publicaciones, concluyen que estos entornos tienen mucho potencial en el campo educativo, tanto para la realización de experiencias prácticas formativas como para actividades de experimentación, pruebas, simulaciones o actividades de trabajo en grupo.

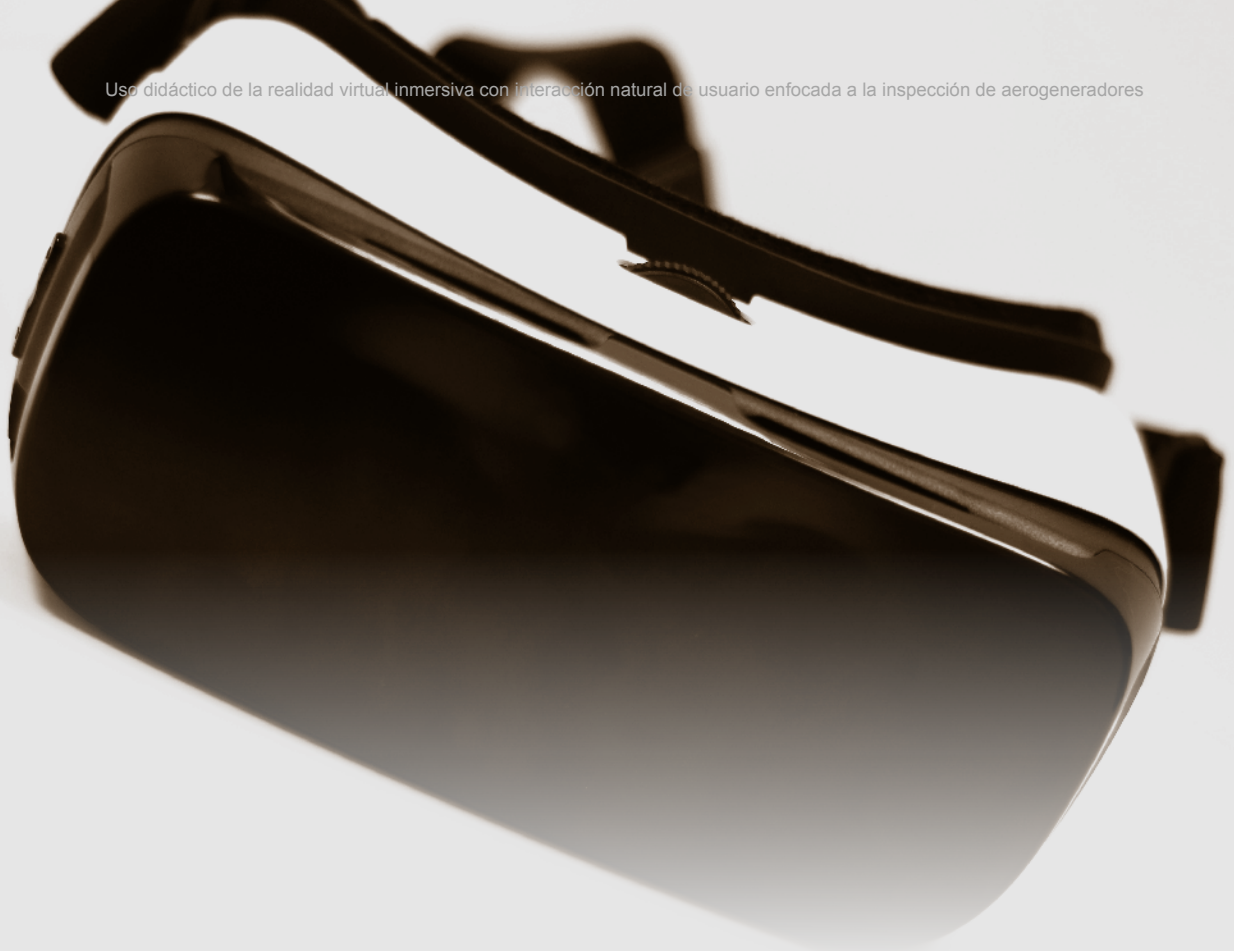
Por su parte, Fominykh, Prasolava-Førland, Morozov, Smorkalov y Molka-Danielsen (2014) van más allá del nivel de inmersión e interacción que, por sí mismos, proveen estos entornos, con la idea de que un ambiente de aprendizaje 3D proporciona una manera más eficaz de motivar el aprendizaje que un salón de clases tradicional; estos autores desarrollaron tres prototipos para incrementar el nivel de inmersión e interacción de los usuarios, y lo lograron por medio de una cueva

de inmersión 3D, un casco de realidad virtual y, por último, un sistema de seguimiento de la posición del usuario (interacción a través de gestos). Gisbert y Esteve (2013) orientaron su estudio hacia la formación de docentes y competencias digitales, mientras que Fominykh *et al.* (2014) enfocan sus prototipos como un recurso didáctico que pueden emplear los profesores para interactuar de modo virtual con los estudiantes.

La investigación de Flores *et al.* (2014) sobre el uso de la tecnología de realidad virtual como estrategia didáctica innovadora revela que en los últimos años, principalmente en los países desarrollados, la realidad virtual ha ganado presencia en los entornos educativos como un enfoque alternativo a las experiencias de aprendizaje tradicionales. A su vez, el estudio de Freina y Ott (2015) referente a la revisión de la literatura sobre la realidad virtual en la educación durante 2013 y 2014 también alcanza este hallazgo; Estados Unidos de América y el Reino Unido son los países con mayor número de publicaciones indexadas.

Flores *et al.* (2014) centran su investigación en el uso potencial de la realidad virtual en el caso particular del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, e identifican asignaturas que, por su naturaleza, demandan la comprensión de conceptos abstractos, generan situaciones de riesgo y requieren visitas industriales o conocer equipo en campo. Al respecto, los autores determinaron que, aun cuando los obstáculos didácticos pueden ocurrir en la mayoría de este tipo de asignaturas, en todos los casos es posible aplicar la realidad virtual para contrarrestarlos. Al tratarse de una investigación de tipo documental, no exponen algún sistema de realidad virtual que permita abordar tales asignaturas.

Por su parte, Freina y Ott (2015) señalan que la principal motivación para el uso de la realidad virtual inmersiva en la educación y el entrenamiento es brindar la oportunidad de experimentar con situaciones en las cuales el acceso físico es difícil o imposible; por ejemplo, sumergirse en algún período histórico o visitar instalaciones



altamente peligrosas, entre otros. Para estos autores, dichas experiencias virtuales comienzan a ser más factibles en el campo educativo y de entrenamiento debido a la entrada en el mercado del casco HMD Oculus Rift a un costo accesible en comparación con el pasado; incluso, Hilfert y Köing (2016) consideran el Oculus Rift como un elemento primordial de los sistemas de realidad virtual inmersiva de “bajo costo” para aplicaciones de ingeniería y construcción.

Es de resaltar que los sistemas a los que se refieren Hilfert y Köing (2016) incluyen interfaces naturales de usuario a través de gestos que utilizan dispositivos como el Kinect y el Leap Motion, entre otros. Aquí vale la pena mencionar el trabajo de Grabowski y Jankowski (2015), citados por Hilfert y Köing (2016), quienes probaron diferentes configuraciones de cascos HMD y medios de interacción para el entrenamiento de mineros de la

industria carbonífera, y descubrieron que los sujetos de prueba prefieren los sistemas de realidad virtual altamente inmersivos. Además, muestran que la detección de comandos gestuales es una mejor opción que un *joystick* inalámbrico, ya que provoca que el resultado del entrenamiento se mantenga en el largo plazo.

Respecto al sector eólico, el uso de la realidad virtual es algo que recientemente se está explorando y aún no es común. Hasta el momento, en la búsqueda de trabajos relacionados se encontraron dos casos desarrollados en la industria eólica: la aplicación móvil ACCIONA Virtual Experience (ACCIONA, 2015) y la experiencia de realidad virtual inmersiva (ACCIONA, 2016), ambas pertenecientes a la empresa española de energías renovables ACCIONA. En ACCIONA (2015) se presentó una aplicación móvil con una lista de proyectos para visitarlos de forma inmersiva; uno

de estos proyectos es el parque eólico de Waubra en Australia. La tecnología necesaria para ejecutar esta aplicación se compone de un teléfono inteligente de gama alta y un casco de RV compatible para el montaje del teléfono. En seguida, ACCIONA (2016) ha mostrado un sistema de realidad virtual inmersiva compuesto por un casco HMD y dos mandos inalámbricos, en el cual los usuarios pueden recorrer en forma virtual un parque eólico, entrar al interior de la torre de un aerogenerador, subir en ascensor hasta la góndola, inspeccionar su interior, interactuar con los elementos y ascender a la parte superior para divisar el paisaje desde lo alto de la máquina.

Además, en el sector educativo se han localizado dos trabajos vinculados a la investigación y el desarrollo enfocados al sector eólico (CEMIE-Eólico, 2016); uno de ellos (Trujillo, 2016) implementa el recorrido de un parque eólico virtual para motivar y estimular al estudiante a realizar actividades que le permitan conocer las instalaciones de un parque eólico; usa como medios de interacción el ratón y el control del Xbox 360 y como medio de inmersión, el casco HMD Oculus Rift. El otro trabajo (Hernández, 2016) desarrolla una plataforma 3D y emplea el Kinect como medio de interacción con el objetivo de ser utilizado como recurso didáctico para adquirir conocimientos sobre los componentes y funcionamiento general de un aerogenerador.

Hacer un recuento de la tecnología empleada por los sistemas de realidad virtual mencionados, permite identificar que la tendencia es el empleo de cascos HMD como un elemento esencial de inmersión

Hacer un recuento de la tecnología empleada por los sistemas de realidad virtual mencionados, permite identificar que la tendencia es el empleo de cascos HMD como un elemento esencial de inmersión (Fominykh *et al.*, 2014; Freina & Ott, 2015; Hilfert & Köing, 2016, ACCIONA, 2016; Trujillo, 2016); predomina el uso del dispositivo Oculus Rift, dado su costo accesible (Freina & Ott, 2015; Hilfert & Köing, 2016). En cuanto a los dispositivos de interacción que permiten el reconocimiento de comandos gestuales, el Kinect es un dispositivo muy usado (Fominykh *et al.*, 2014; Hilfert & Köing, 2016; Hernández, 2016). Además de estos dos dispositivos de hardware, también destaca un tercer elemento de igual importancia: el software del motor gráfico. El sector de los videojuegos provee de diversas opciones de motores gráficos para el desarrollo de videojuegos que hacen posible aplicaciones de realidad virtual inmersiva; Unity 3D es uno de los motores de mayor empleo dada su compatibilidad con el casco Oculus Rift (Trujillo, 2016) y con el dispositivo Kinect (Hernández, 2016).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

En el sistema propuesto en este artículo es posible identificar la convergencia tecnológica mencionada por Flores *et al.* (2014), que da lugar a los sistemas de realidad virtual inmersiva. Esta convergencia involucra seis tecnologías: equipo de visualización, equipos de adquisición de información, software (motor gráfico), hardware de procesamiento, accesorios complementarios y sistemas de comunicación. La figura 1 esquematiza el caso particular de convergencia tecnológica que ocurre en el sistema de realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario propuesto para la inspección de aerogeneradores.

La metodología empleada para lograr la convergencia tecnológica de los tres componentes principales: adquisición, visualización y software, tomó como base las etapas del desarrollo basado en componentes (Pressman, 2010), enmarcado en



Figura 1. Convergencia tecnológica para el caso particular del sistema propuesto

Fuente: adaptado de Flores *et al.* (2014).

las siete fases del ciclo de vida del desarrollo de sistemas (Kendall y Kendall, 2005). La figura 2 muestra la relación entre tres de las fases del ciclo de vida del desarrollo de sistemas y las cinco etapas del desarrollo basado en componentes. Cabe mencionar que una metodología similar se em-

pleó en Zúñiga, Amador, Mejía, Morales y Mota (2014) para un entorno virtual tridimensional orientado a la difusión turística de Teotihuacán; sin embargo, emplearon el método de prototipos en lugar del desarrollo basado en componentes.

Durante la primera fase del ciclo de vida del desarrollo de sistemas, identificamos como una necesidad primordial las visitas de campo a los parques eólicos con la finalidad de reforzar el aprendizaje durante la formación de recursos humanos en la maestría en Ciencias en Energía Eólica de la Universidad del Istmo, en particular en las asignaturas Introducción a la tecnología de los aerogeneradores y Seminario de tecnología de los aerogeneradores. Estas presentan el tipo de obstáculos didácticos mencionados por Flores *et al.* (2014), en el sentido de que generan situaciones de riesgo, demandan visitas industriales y requieren conocer equipo en campo. Al respecto, diversos autores coinciden en que los sistemas de realidad virtual inmersiva son una alternativa viable que contribuye a superar esos obstáculos didácticos, además de motivar el aprendizaje en un entorno seguro para el estudiante (Fominykh *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2014; Freina & Ott, 2015). Así, el objetivo del sistema propuesto se concibe como “desarrollar un sistema de realidad virtual

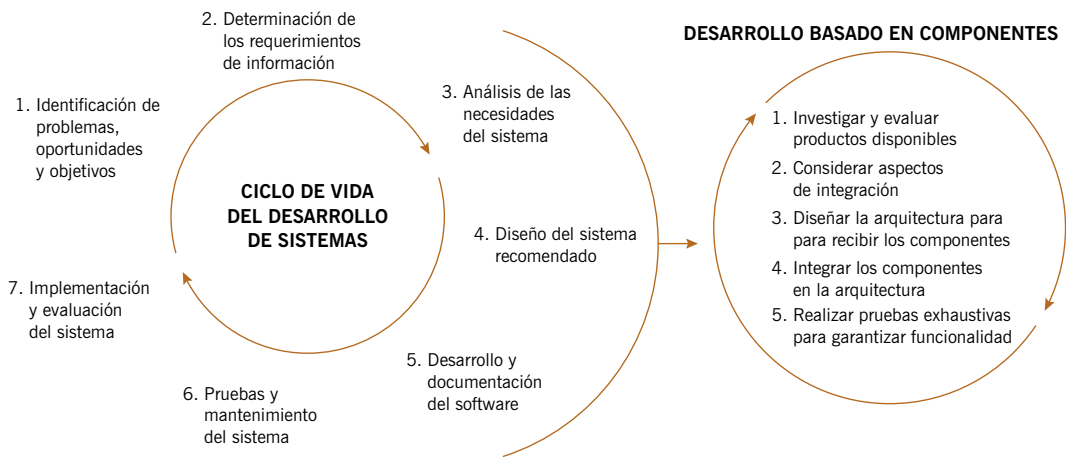


Figura 2. El ciclo de vida del desarrollo de sistemas y el desarrollo basado en componentes

Fuente: adaptado de Kendall y Kendall (2014) y Pressman (2010).

El análisis de los requerimientos permite identificar notoriamente la necesidad de un sistema que contribuya a experimentar la realidad virtual inmersiva de manera conjunta con una interfaz natural de usuario a base de comandos gestuales

inmersiva con interacción natural de usuario enfocado a la inspección de aerogeneradores con fines didácticos”.

En la segunda fase del ciclo de vida se establecieron los requerimientos de información conforme a las coincidencias curriculares de las dos asignaturas identificadas en la fase uno, las cuales demandan una visita de campo a un parque eólico para conocer y dimensionar los principales componentes de un aerogenerador, como son la torre, el generador, el rotor, los sistemas de orientación, la góndola, entre otros. En este sentido, el sistema propuesto debe ser capaz de:

- Proveer una representación 3D del entorno de un aerogenerador (parque eólico) cercana a la realidad.
- Presentar la estructura 3D externa de un aerogenerador, desde la cimentación hasta la góndola, con suficiente nivel de detalle para diferenciar con claridad los componentes externos.
- Mostrar en 3D los principales componentes internos de la góndola y distinguirlos perfectamente unos de otros.
- Ofrecer al usuario información relevante tanto de los componentes internos como de los externos del aerogenerador.

- Proveer un mecanismo de inmersión eficaz, que evite distractores visuales, para permitirle al usuario concentrarse en la inspección desde diferentes perspectivas en los modelos 3D internos y externos del aerogenerador.
- Contar con una interfaz natural de usuario a través de comandos gestuales para evitar el uso de *joysticks*.
- Disponer de un avatar para navegar por el exterior, interior y sobre la góndola del aerogenerador.
- Ambientar auditivamente con sonido de viento el entorno 3D.

Con estas características, se pretende generar una experiencia de aprendizaje virtual muy cercana a la realidad, pero sin los riesgos que implica una visita real, y lograr con ello motivar el aprendizaje de los estudiantes.

La tercera fase del ciclo de vida se aborda con las dos primeras etapas del desarrollo basado en componentes. El análisis de los requerimientos permite identificar notoriamente la necesidad de un sistema que contribuya a experimentar la realidad virtual inmersiva de manera conjunta con una interfaz natural de usuario a base de comandos gestuales; dicha necesidad obliga a investigar y evaluar los productos reportados en los trabajos relacionados en cuanto a su costo (factibilidad económica) y aspectos de integración de los componentes.

En coincidencia con Freina y Ott (2015) y Hilfert y Köing (2016), el casco Oculus Rift se identificó como la opción más viable a un costo de 599 dólares. Respecto a la interacción natural de usuario, el dispositivo Kinect también resultó ser uno de los de mayor potencial y más conocidos por los usuarios finales (Fominykh *et al.*, 2014; Hilfert & Köing, 2016; Hernández, 2016); este dispositivo tiene un costo de 109.99 dólares. Ambos componentes han sido probados con anterioridad en el motor gráfico de videojuegos Unity 3D (Trujillo, 2016; Hernández, 2016), lo cual indica que este es el motor de videojuegos idóneo para su integración en un mismo sistema.

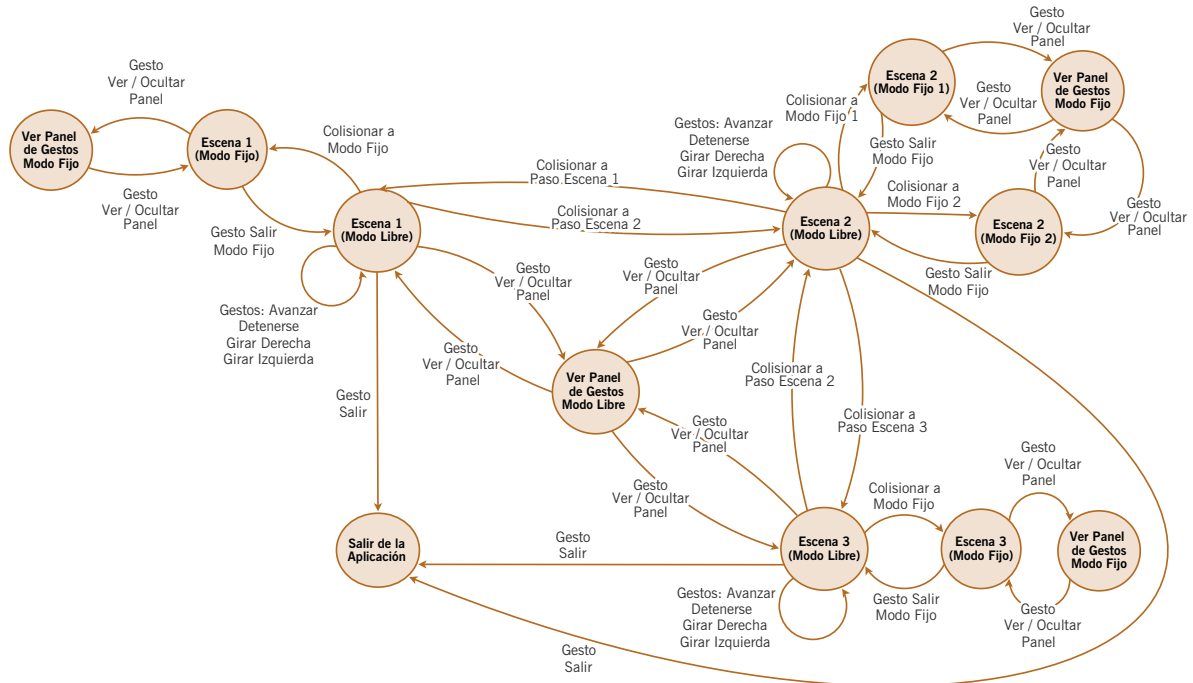


Figura 3. Máquina de estados que describe la lógica del sistema

Fuente: elaboración propia. / Nota: el modo fijo permite mostrar paneles con información; el modo libre facilita navegar en las escenas.

Otro aspecto a considerar es la capacidad de cómputo para implementar y ejecutar sistemas de realidad virtual inmersiva. Tomando como referencia los requerimientos de los tres componentes seleccionados, consideramos dos equipos de cómputo: uno para el desarrollo y otro para la ejecución del sistema final. Para el desarrollo, elegimos una estación de trabajo modelo Dell® Precision 7910 con procesador Xeon® CPU E5-2623 V3 @ 3.0 Ghz, 16 GB de memoria y una tarjeta de GPU NVIDIA® QUADRO® K2200 a un costo de 57 146 pesos, y para la ejecución del sistema, una computadora modelo Dell® Inspiron 15 con procesador Intel® Core™ i7, 8 GB de memoria y una tarjeta GPU NVIDIA® GeForce® 4GB con un precio de 22 999 pesos.

La cuarta fase del ciclo de vida se aborda de modo conjunto con la tercera etapa del desarrollo basado en componentes, dado que es aquí donde

se diseña la lógica del sistema que permitirá integrar de forma coordinada los componentes tecnológicos de hardware y software. La figura 3 presenta, a través de una máquina de estados, el diseño de la lógica del sistema propuesto. Por el momento, se cuenta con tres escenas: a nivel de piso del aerogenerador, al interior de la góndola, y sobre la góndola. En esta fase también fue necesario definir y detallar todos los modelos 3D a presentar en el sistema de realidad virtual inmersiva; además, fueron establecidos los comandos gestuales necesarios para la interacción.

Durante la quinta fase del ciclo de vida tienen lugar las dos últimas etapas del desarrollo basado en componentes. El primer componente en integrarse y probarse de manera exhaustiva en Unity 3D para asegurar su funcionalidad fue el dispositivo Kinect; esto permitió generar una primera versión del sistema completamente

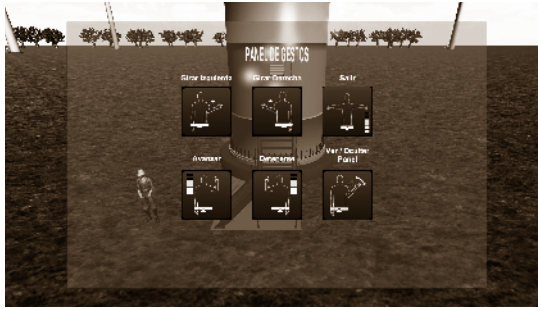


Figura 4. Panel de comandos gestuales para girar izquierda, girar derecha, avanzar, detenerse, ver/ocultar panel (izquierda)

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Panel de texto con información sobre el componente llamado multiplicadora (derecha)

Fuente: elaboración propia. / Nota: la esfera ha sido situada por el usuario sobre dicho componente.

operacional sin el casco HMD. Luego se integró el casco HMD Oculus Rift, con el cual se logró satisfacer los requisitos de inmersión e interacción identificados durante la segunda fase del ciclo de vida.

En la sexta etapa se diseñaron y ejecutaron pruebas preliminares en las que participaron los involucrados en el análisis, diseño y desarrollo, además de un par de usuarios, para detectar y corregir problemas en la interfaz y el funcionamiento. Los problemas detectados y corregidos fueron los siguientes:

- El sistema tendía a confundir algunos de los gestos elegidos inicialmente, además de no ser tan intuitivos como se esperaba; por este motivo, elegimos nuevos comandos gestuales (ver figura 4) que resultaran más intuitivos y, a su vez, fueran diferenciados por el sistema con mayor precisión.
- Al mostrar un panel con información relevante sobre un componente, el panel ocluía en gran parte al componente; la solución consistió en emplear un material tipo cristal para los paneles que permite leer la descripción del componente al mismo tiempo que deja ver a través de él los componentes a inspeccionar (ver figura 5).
- La legibilidad del texto presentado en la interfaz disminuía a medida que el texto se si-

tuaba en los extremos derecho o izquierdo del campo de visión del casco Oculus Rift; este problema se solucionó al situar al centro de la cámara (punto de enfoque) todos los paneles mostrados al usuario. Corregidos los problemas, se generó la primera versión final del sistema para ser implementada y evaluada en la séptima fase de la metodología.

Durante la séptima y última fase correspondiente a la implementación y evaluación del sistema, se acondicionó un cubículo de casi 3.2 metros de largo por 2.9 metros de ancho y 2.8 metros de alto, con iluminación artificial de 60 Hertz; se cubrió con papel bond de color blanco la ventana y puerta de cristal para evitar interferencias externas que pudieran afectar el reconocimiento de gestos. En este espacio se instalaron los diferentes componentes tecnológicos del sistema: equipo de cómputo con el software instalado, dispositivo Kinect, casco HMD Oculus Rift, y sistema de audio (ver figura 6).

La evaluación del sistema contó con la participación de una muestra de veinte estudiantes de la maestría en Ciencias en Energía Eólica, cinco profesores de la Universidad del Istmo y cinco estudiantes de licenciatura. A los treinta participantes se les aplicó un cuestionario previo de diez preguntas de opción múltiple diseñado con



Figura 6. Espacio acondicionado para la implementación y evaluación: a) empleando solo el dispositivo Kinect y b) empleando el casco HMD Oculus Rift y el dispositivo Kinect

Fuente: elaboración propia.

el propósito de identificar factores en la asimilación del uso de tecnologías asociadas en ambientes virtuales inmersivos.

Los datos recolectados para cada perfil de usuario son: edad, sexo, escolaridad, ocupación, visitas previas a parques eólicos, experiencia en videojuegos, uso del Kinect, uso del HMD Oculus Rift, uso o pruebas con tecnología de realidad virtual y vértigo de la altura. La prueba del sistema consistió en elaborar dos tareas sin emplear el casco HMD Oculus Rift (ver figura 6a) para, posteriormente, realizar esas dos tareas más otras cuatro similares, pero esta vez usando el casco. Las tareas eran: explorar el entorno exterior a nivel de piso del aerogenerador, explorar el interior de la góndola, así como el exterior de esta; pasar de un modo de navegación libre a uno fijo en el que es posible visualizar los paneles con información sobre los componentes del aerogenerador.

Es de destacar que las tareas a realizar por parte de los usuarios se diseñaron para que el tiempo de uso del casco no excediera los veinte minutos, como lo sugieren Guerrero y Valero (2013) en su trabajo sobre los efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. Después de la prueba, se aplicó a los usuarios otro cuestionario diseñado con ocho ítems tipo Likert de cinco niveles; cuatro preguntas se diseñaron

para valorar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la segunda fase del ciclo de vida. Las otras cuatro se centraron en medir aspectos como el interés de los usuarios por emplear tecnología de realidad virtual para reforzar conocimientos, el potencial didáctico de la tecnología utilizada en prácticas formativas y la valoración de los efectos secundarios percibidos por los usuarios. Los resultados de los ocho ítems y su discusión se abordan en la siguiente sección.

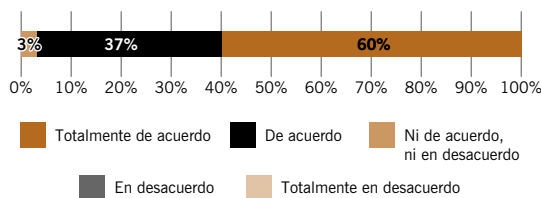
Los datos para cada perfil de usuario son: edad, sexo, escolaridad, ocupación, visitas previas a parques eólicos, experiencia en videojuegos, uso del Kinect, uso del HMD Oculus Rift, uso o pruebas con tecnología de realidad virtual y vértigo de la altura

RESULTADOS

El primer cuestionario permitió identificar un perfil de los treinta usuarios de prueba. La edad va desde los veinte a los cuarenta años: el rango de veinte a veintiséis años representa 73%; el de los veintisiete a los treinta y tres, 20%; y el de los treinta y cuatro a los cuarenta, 7%. Del total, 83% son del género masculino y 17%, del femenino; 60% de estos tienen poca experiencia en el uso de videojuegos, 17% no tienen experiencia en videojuegos y solo 23% son jugadores habituales. Este dato es importante porque la tecnología que emplea el sistema propuesto surge de la industria de los videojuegos. A pesar de la poca experiencia de los usuarios con videojuegos, 53% han empleado alguna vez el dispositivo Kinect y 43%, el casco HMD Oculus Rift. No obstante, 60% no han llevado a cabo pruebas o utilizado algún sistema de realidad virtual inmersiva. Otro dato valioso es que 60% de los usuarios han visitado alguna vez un parque eólico.

El cuestionario posterior a la prueba produjo los siguientes resultados:

- De los usuarios, 60% están totalmente de acuerdo en que el nivel de inmersión es mayor al usar el casco HMD Oculus Rift que cuando no se utiliza, mientras que 37% están de acuerdo y solo 3%, ni de acuerdo ni en desacuerdo (ver gráfica 1). Este resultado permite afirmar que el requisito de contar con un mecanismo de inmersión eficaz se cumple, lo que confirma también lo planteado por Slater (2009):

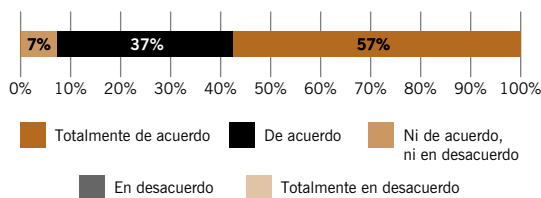


Gráfica 1. Nivel de inmersión percibido con el casco HMD Oculus Rift

Fuente: elaboración propia.

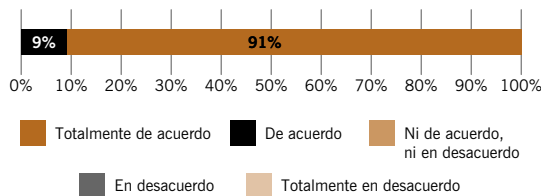
este tipo de cascos permite experimentar la realidad virtual inmersiva.

- A pesar de que solo 60% de los usuarios han visitado un parque eólico, 72% del total de ellos están de acuerdo en que la experiencia durante la prueba con el casco HMD Oculus Rift tiene gran similitud a una inspección real, en tanto que 17% están totalmente de acuerdo y 11%, ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- De los usuarios, 50% están de acuerdo en que es posible diferenciar de manera clara los componentes externos del aerogenerador, y 50% están totalmente de acuerdo. Con este resultado, el requisito correspondiente se ha cubierto. No obstante, en una versión posterior del sistema se mejorará el nivel de detalle.
- De los usuarios, 60% indican que están totalmente de acuerdo en que se distinguen de manera perfecta los componentes internos de la góndola del aerogenerador, en tanto que 37% están de acuerdo y 3%, ni de acuerdo ni en desacuerdo. Este resultado permite considerar que el requisito correspondiente se ha cubierto; sin embargo, en una versión posterior del sistema se mejorará el nivel de detalle y contraste entre los componentes internos.
- De los usuarios, 57% están totalmente de acuerdo en que el interés en las asignaturas de Introducción a la tecnología de los aerogeneradores y Seminario de tecnología de los aerogeneradores sería mayor si se utilizase el sistema de realidad virtual inmersiva (ver gráfica 2), en tanto que 37% están de acuerdo y 7%, ni de



Gráfica 2. Interés sobre las asignaturas cuando se emplea un sistema de realidad virtual inmersiva

Fuente: elaboración propia.

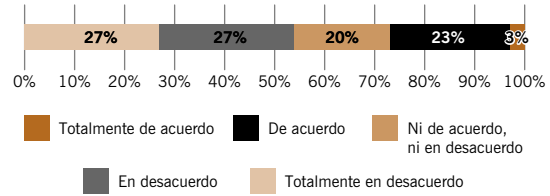


Gráfica 3. Interés por realizar prácticas usando sistemas de realidad virtual inmersiva

Fuente: elaboración propia.

acuerdo ni en desacuerdo. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Fominykh *et al.* (2014), en el sentido de que un ambiente de aprendizaje 3D proporciona una manera más eficaz de motivar el aprendizaje que un salón de clases tradicional.

- De los usuarios, 70% están totalmente de acuerdo en que usar el sistema de realidad virtual inmersiva para inspeccionar aerogeneradores ayudará a reafirmar los conocimientos de las asignaturas de Introducción a la tecnología de aerogeneradores y Seminario de tecnología de aerogeneradores, mientras que 27% están de acuerdo y solo 3%, ni de acuerdo ni en desacuerdo. Si contabilizamos solo a los usuarios inscritos en la maestría en Ciencias en Energía Eólica (20 de un total de 32 inscritos), así como a dos de los profesores que pueden impartir las asignaturas en cuestión, el porcentaje de ellos que está totalmente de acuerdo cambia a 68 y los que están de acuerdo a 27, mientras que los que señalaron la opción ni de acuerdo ni en desacuerdo equivalen a 5%. Estos resultados permiten confirmar que el propósito didáctico del sistema propuesto es alcanzable por completo.
- Al considerar únicamente a los usuarios que son alumnos o profesores de la maestría en Ciencias en Energía Eólica (20 estudiantes y 2 profesores), 91% están totalmente de acuerdo en utilizar este tipo de sistemas para llevar a cabo prácticas en las asignaturas correspondientes, mientras que 9% están de acuerdo



Gráfica 4. Malestar al usar el casco HMD Oculus Rift

Fuente: elaboración propia.

(ver gráfica 3). Estos resultados coinciden en parte con las conclusiones del estudio de Gisbert y Esteve (2013), en cuanto a que estos sistemas tienen mucho potencial en el campo educativo, en particular en la realización de experiencias prácticas formativas.

- De los usuarios, 3% están totalmente de acuerdo en que el uso del casco HMD Oculus Rift les causó algún tipo de malestar, como mareo o vértigo, mientras que otro 23% están de acuerdo (ver gráfica 4). Estos resultados coinciden con lo señalado por Guerrero y Valero (2013): la percepción visual de la inmersión puede ser tan real que el usuario requiere un uso gradual del casco HMD para adaptarse mentalmente.

CONCLUSIONES

En este artículo abordamos el uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. Para ello, proponemos un sistema en el cual convergen principalmente tecnología de visualización (Oculus Rift), de adquisición de información (Kinect) y software gráfico (Unity 3D). Este sistema permite superar los obstáculos didácticos identificados por Flores *et al.* (2014) en asignaturas que, por su naturaleza, generan situaciones de riesgo físico y requieren visitas industriales y conocer equipo en campo. Este es el caso de las asignaturas de Introducción a la

tecnología de los aerogeneradores y Seminario de tecnología de los aerogeneradores de la maestría en Ciencias en Energía Eólica de la Universidad del Istmo. Cabe mencionar que el uso de la realidad virtual inmersiva en el sector eólico es algo que se está explorando en la actualidad (ACCIONA, 2015; ACCIONA, 2016; CEMIE-Eólico, 2016), y este trabajo es una propuesta didáctica innovadora que presenta la convergencia tecnológica entre cascos de realidad virtual y dispositivos de interacción natural de usuario para la formación de recursos humanos en el sector.

Con base en los resultados de una primera evaluación cualitativa del uso del sistema y la aplicación del cuestionario con ítems tipo Likert de cinco niveles, es posible concluir que el nivel de inmersión percibido por los usuarios es mayor cuando se utiliza el casco HMD Oculus Rift que cuando no; además, la sensación de experimentar la inmersión total en un ambiente virtual muy parecido a la realidad y la capacidad de interactuar a través de gestos corporales motivaron de manera positiva el aprendizaje y el interés por realizar prácticas formativas con esta tecnología.

El sistema propuesto se enfoca a la inspección de aerogeneradores para reforzar el aprendizaje de los principales elementos que intervienen en el proceso de generación de energía eólica. No obstante, la metodología planteada para lograr la convergencia tecnológica y los equipos Oculus Rift, Kinect y el software Unity 3D pueden emplearse en la producción de herramientas didácticas innovadoras para asignaturas similares a las abordadas en este artículo. *a*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIONA. (2015, diciembre). ACCIONA. Recuperado de <http://www.acciona.com/es/a-fondo/experiencias-inmersivas>
- ACCIONA. (2016, mayo). ACCIONA. Recuperado de <http://www.acciona.com/es/noticias/acciona-presenta-experiencia-realidad-virtual-inmersiva-feria-eolica-importante-norteamerica/>
- Ballmer, Steve. (2010, enero). CES 2010: A transforming trend-the natural user interface. *The Huffington Post*. Recuperado de http://www.huffingtonpost.com/steve-ballmer/ces-2010-a-transforming-t_b_416598.html
- CEMIE-Eólico. (2016, mayo). CEMIE-Eólico. Recuperado de <http://cemiee.iie.org.mx/Proyectos/Proyecto-P08>
- Gisbert Cervera, Mercè y Esteve Mon, Francesc Marc. (2013). Explorando el potencial educativo de los entornos virtuales 3D. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, vol. 14, núm. 3, pp. 302-319. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=201029582015>
- Flores Cruz, Jesús Alberto; Camarena Gallardo, Patricia; Ávalos Villarreal, Elvira. (2014). La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Revista Apertura*, vol. 6, núm. 2. Recuperado de <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/547/369>
- Fominykh, Mikhail; Prasolava-Forland, Ekaterina; Morozov, Mikhail; Smorkalov, Andrey; Molka-Danielsen, Judith. (2014). Increasing Immersiveness into a 3D Virtual World: Motion-tracking and natural navigation in vAcademia. *IERI Procedia*, vol. 7, pp. 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.08.007>
- Freina, Laura & Ott, Michela. (2015, abril). *A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives*. Presentado en eLSE Conference, Bucharest.
- Guerrero Cuevas, Belén y Valero Aguayo, Luis. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. En *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, pp. 163-178.
- Grabowski, Andrzej & Jankowski, Jaroslaw. (2015). Virtual reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*, vol. 72, pp. 310-314. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017>
- Hernández, Martín. (2016, marzo). *Plataforma 3D empleando el Kinect para la manipulación virtual de los elementos de un aerogenerador*. (Tesis de licenciatura). Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México, Unistmo.
- Hilfert, Thomas & König, Markus. (2016). Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*, vol. 4, núm. 2. <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0031-5>
- Kaushik, Manju & Jain, Rashmi. (2014). Natural user interfaces: Trend in virtual interaction. *International Journal Of Latest technology in Engineering, Management & Applied Science*, vol. 3, núm. 4, pp. 141-143. arXiv:1405.0101

- Kendall, Kenneth y Kendall, Julie. (2005). *Análisis y diseño de sistemas* (sexta edición). México: Pearson Educación.
- Olguín Carbajal, Mauricio; Rivera Zarate, Israel; Pozas Quiteria, Oliver. (2008). Desarrollo de un sistema inmersivo de realidad virtual basado en cabina multipersonal y camino sin fin. *Polibits*, núm. 37, pp. 79-82. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-90442008000100011
- Pressman, Roger. (2010). *Ingeniería de software. Un enfoque práctico* (séptima edición). MacGraw-Hill.
- Slater, Mel. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *The Royal Society*, pp. 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Springer. (2008). Immersive Virtual Reality. *Encyclopedia of Multimedia* (pp. 345-346). Estados Unidos. Recuperado de https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-78414-4_85
- Tesicnor. (2014). *La prevención de incendios y la seguridad de parques eólicos*. Pamplona, España.
- Trujillo, Karla. (2016, marzo). *Entorno digital tridimensional interactivo de un parque eólico*. (Tesis de licenciatura). Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México, Unistmo.
- Zúñiga, Jorge; Amador, Juan; Mejía, Christian; Morales, Alejandra; Mota, Cinthya. (2014). Desarrollo de un entorno virtual tridimensional como herramienta de apoyo a la difusión turística de la zona arqueológica de Teotihuacán. *Acta Universitaria*, vol. 24, núm. 4, pp. 34-42. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/39193>



Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Cantón Enríquez, Daniel; Arellano Pimentel, J. Jesús; Hernández López, Miguel Ángel y Nieva García, Omar Santiago. (2017). Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. *Apertura*, 9 (2), pp. 8-23. <http://dx.doi.org/10.18381/Ap.v9n2.1049>