

La formación de ingenieros en sistemas automotrices mediante la realidad aumentada

José Miguel Cortés Caballero
Ángel Admin Pérez Martínez
José Eduardo Mejía Villegas
Macaria Hernández Chávez
Diego A. Fabila Bustos
Luis F. Hernández Quintanar

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo
Instituto Politécnico Nacional

Resumen

En este trabajo se describe el desarrollo de un manual en realidad aumentada para dispositivos móviles Android enfocado en los estudiantes del programa académico de Ingeniería en Sistemas Automotrices, como una herramienta de enseñanza en el contexto de la Educación 4.0. Se utilizaron los pilares tecnológicos de la Industria 4.0 para perfilar a los estudiantes de modo que puedan cumplir con las exigencias de su desempeño profesional en el nivel industrial. La realidad aumentada (RA) desempeña un papel muy importante en áreas como el control de calidad, la identificación de fallos, la generación/desarrollo de manuales de información, así como en cursos de capacitación y manejo. La información que se presenta en el manual brinda al estudiante una experiencia más inmersiva e interactiva, apoyada en los modelos 3D tanto del motor como de las partes que lo conforman, y le permite manipular las piezas, escuchar información adicional de su composición, su uso y relacionar el funcionamiento del motor con el ciclo termodinámico Otto.

Palabras clave

Realidad aumentada, sistemas automotrices, Educación 4.0, Industria 4.0.

Automotive system engineers training through augmented reality

Abstract

In this work, it is presented the development of an augmented reality handbook for Android mobile devices; it is focused on the students of the program of Engineering in Automotive Systems as a teaching tool in the environment of Education 4.0; by using the technological bases of Industry 4.0 to outline the students to the demands in their professional performance at industrial level, where augmented reality plays a very important role in different fields such as quality control, identification of failures, development of handbooks and training and management courses. The information presented in the handbook allows the student a more immersive and interactive experience, using 3D models of the motor and its parts as a help for

Keywords

Augmented reality, automotive systems, Education 4.0, Industry 4.0.

Recibido: 15/06/2019
Aceptado: 25/08/2019

the students, allowing them to manipulate the pieces, listen to additional information about the composition, and the use and relate the operation of the motor with the Otto thermodynamic cycle.

Introducción

El 46° Foro Económico en Davos, Suiza, celebrado en enero de 2016, tuvo como uno de los temas principales de la agenda la Cuarta Revolución Industrial. “La Primera Revolución Industrial usó el agua y la energía del vapor para mecanizar la producción. La Segunda usó la energía eléctrica para crear la producción en masa, mientras que la Tercera usó la electrónica y la tecnología de la información para automatizar la producción. En la actualidad, la Cuarta Revolución Industrial o la revolución digital, tiene como bases algunos de los principios de la Tercera; desde mediados del siglo pasado se caracteriza por una fusión de tecnologías que está difuminando las líneas entre las esferas física, digital y biológica”, mencionó el profesor Klaus Schwab, presidente del Foro (Foro Económico Mundial, 2016).

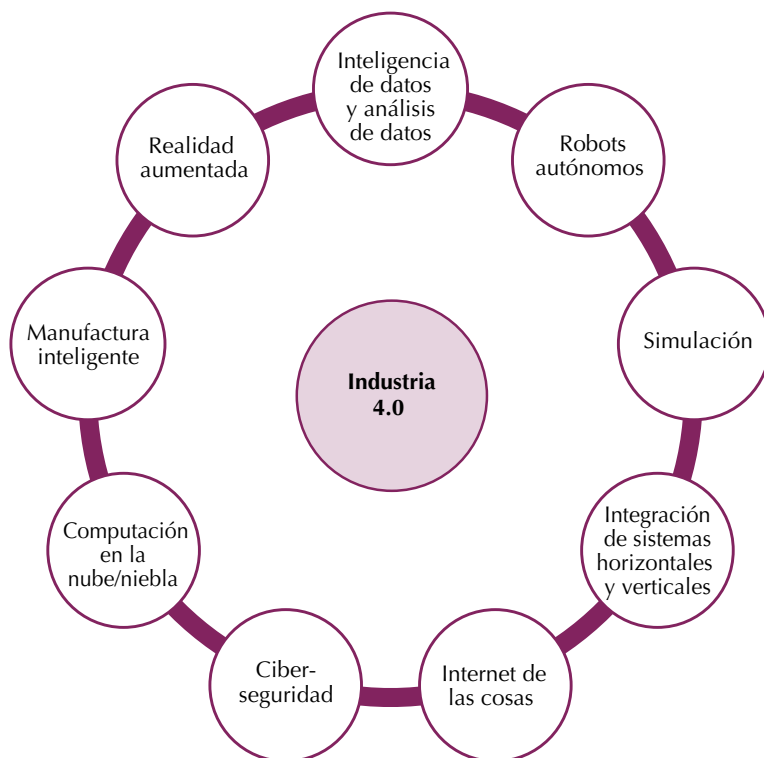
Una de las consecuencias de las revoluciones industriales es que modificaron drásticamente la manera en que se realizaba el trabajo, las relaciones laborales (Absalyamova y Absalyamov, 2015), la relación entre la industria y las instituciones educativas (Penprase, 2019), entre otras. Esto trajo como consecuencia la demanda de diferentes especialidades y profesiones, además de nuevos requisitos para el sistema educativo y la capacitación. La Primera Revolución Industrial (s. XVIII-XIX), con la invención de la máquina de vapor, cambió el trabajo manual al realizado por medio de máquinas, lo cual condujo a la aparición de nuevas profesiones que se adaptarían a las nuevas condiciones laborales.

La Segunda Revolución Industrial, (s. XIX-principios del s. XX) generó un rápido desarrollo de las industrias de alta tecnología: ingeniería, aviación, industria automotriz, química, etcétera, y la producción en masa mediante el uso de la energía eléctrica. Esto aumentó la demanda y el prestigio de nuevas profesiones, como las de los científicos e ingenieros. Muchos países crearon un sistema multinivel de capacitación de personal para la industria. Las fábricas (empleadores) se involucraron activamente en el proceso educativo, creando centros de capacitación laboral y enviando a los trabajadores jóvenes más talentosos a las escuelas superiores. Durante este periodo, las ciencias naturales y las profesiones de ingeniería prevalecieron significativamente sobre las ciencias humanísticas y socioeconómicas. La producción industrial masiva requirió de una gran cantidad de especialistas calificados con los mejores estándares, además de que los sistemas nacionales de educación, en conjunto con la industria, buscaron desarrollar estos estándares educativos en el proceso de capacitación de personal altamente calificado.

La Tercera Revolución Industrial (segunda mitad del s. XX- principios del s. XXI) se basó en la transición hacia las tecnologías de las telecomunicaciones y de la información (Diwan, 2017), así como en su integración en la producción y en el proceso educativo (Rifkin, 2014), además de la automatización de la producción industrial y el desarrollo de nuevos servicios.

La Cuarta Revolución Industrial (comienzos del s. XXI), con la introducción de la Internet de las Cosas y la integración de sistemas ciberfísicos (SCF) en los procesos de producción, no sólo ha afectado la producción industrial y el empleo al igual que las revoluciones anteriores, sino también la manera en la que se realizan los negocios, el ámbito gubernamental y la educación en varios aspectos de la vida cotidiana (Baygin y cols., 2016). En su estudio: “El futuro de la productividad y el crecimiento en las industrias manufactureras” (The Boston Consulting Group, 2015), el Boston Consulting Group (BCG) describe detalladamente las nueve tecnologías pilares de la Industria 4.0, las cuales se muestran en la figura 1.

Figura 1. Las nueve tecnologías pilares de la Industria 4.0.



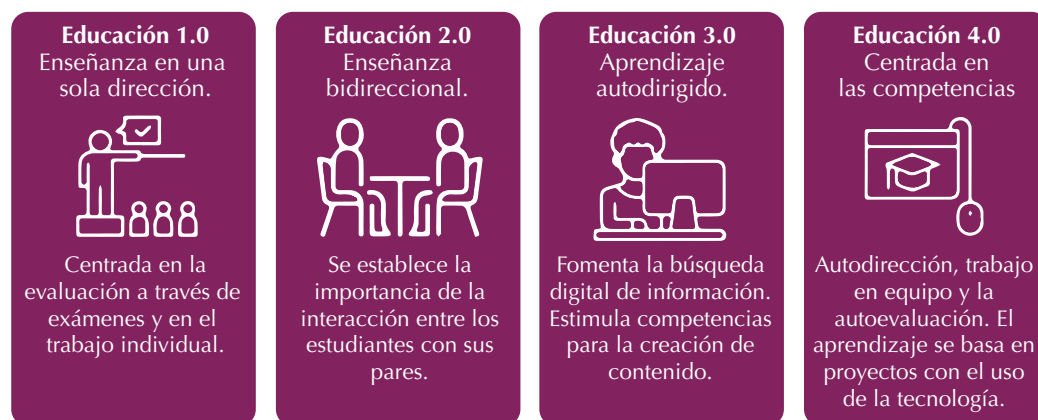
Fuente: Baygin, M., y cols., (2016). An effect analysis of Industry 4.0 to higher education, 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)).

Así como las revoluciones industriales han pasado por diferentes etapas a lo largo de su evolución y han tenido una cercanía con la educación, en esta última se distinguen cuatro etapas, como se muestra en la figura 2.

Recientemente, se ha observado que los métodos de educación tradicionales están llegando a su límite cuando se trata de preparar a empleados calificados para poder cumplir con los requisitos de la Industria 4.0, por tal motivo, se ha requerido adaptar los métodos educativos. La aplicación de nuevas tecnologías en cursos incluyen el aprendizaje combinado, la individualización y virtualización de la educación, el aprendizaje basado en juegos, el uso de la realidad aumentada, la realidad virtual y la realidad mixta, comunidades de aprendizaje, el fortalecimiento de proyectos multidisciplinarios en educación en ingeniería y el desarrollo de recursos educativos interactivos y portables. Los elementos tecnológicos y herramientas que incluye la Educación 4.0 se muestran en la figura 3, donde se incluyen los objetivos didácticos de cada elemento.

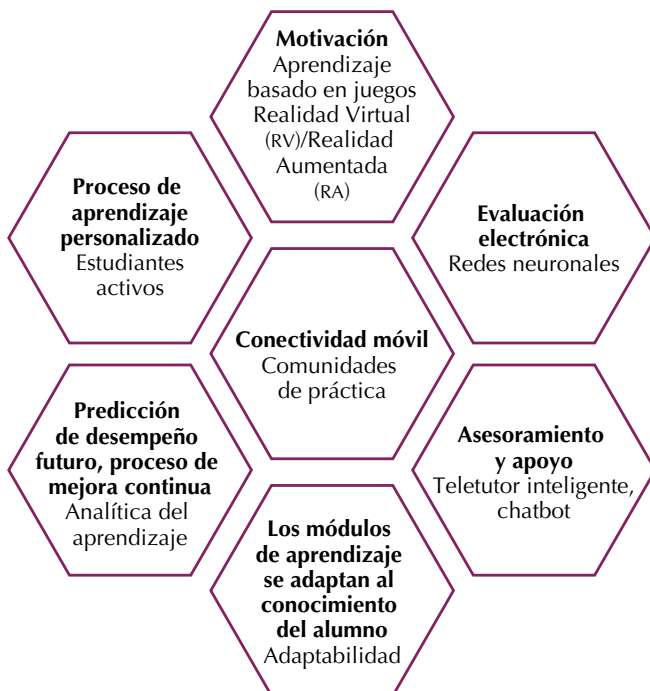
En la actualidad, se encuentra disponible en línea una gran variedad de herramientas digitales que pueden ser utilizadas por los docentes para aplicar los principios de la Cuarta Revolución Industrial en el aula. De acuerdo con Hussin (2018), los docentes requieren algunas habilidades digitales fundamentales, como grabar y editar clips de audio; crear videos atractivos e interactivos en los cuales los estudiantes puedan crear sus propias anotaciones; crear contenido visualmente atrayente y redes sociales personales de aprendizaje; conectarse, descubrir contenido nue-

Figura 2. Diagrama representativo de la evolución de la educación.



Fuente: Educación 4.0 [Imagen]. (2019). Recuperado de: <https://docente.4-0.ipn.mx/index.php/educacion-4-0/>

Figura 3. Elementos tecnológicos y herramientas de Educación 4.0 con objetivos didácticos.



Fuente: Ciolacu, M. y cols. (2017). Education 4.0—Fostering student’s performance with machine learning methods. IEEE 23th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME).

vo, además de crecer profesionalmente; usar blogs y *wikis* para crear espacios participativos para los estudiantes; utilizar sitios web para compartir información y recursos con los estudiantes; así como crear presentaciones atractivas, portafolios digitales y evaluaciones utilizando herramientas digitales. La finalidad de estas habilidades digitales es desarrollar en el estudiante las habilidades que lo prepararán para insertarse en el campo laboral de la Industria 4.0.

Algunas universidades han empezado a adaptar los métodos de enseñanza a las necesidades de la Industria 4.0, por ejemplo, el establecimiento de la Industrie 4.0 Learning Factory totalmente automatizado en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Darmstadt (Simons y cols., 2017) y el Smart Production Laboratory para la enseñanza y la investigación en la Universidad de Aalborg Dinamarca (Erol y cols., 2016). La Universidad Turco-Alemana ha implementado un marco basado en tres ejes pilares interrelacionados: currículo, laboratorio y club de estudiantes. Estos pilares están sustentados en la teoría de aprendizaje experiencial de Kolb (Coskun y cols., 2019). También, desde el año 2005 el Instituto

de Tecnología de Wuhan en China ha comenzado a implementar el modo de cultivación de talento “Order-style”, el cual se logra mediante la integración de múltiples disciplinas y de la ciencia, la educación y la colaboración de la industria. En el marco de la Industria 4.0, su modelo busca impulsar, durante el proceso de formación, la educación en la innovación y en el emprendimiento, con lo cual se construye un sistema innovador de cultivo de talento para la transformación industrial (Jun y Jin, 2017).

En México, en el Instituto Politécnico Nacional, específicamente en la Unidad Politécnica para la Educación Virtual, se considera que los desafíos que enfrenta la Industria 4.0 en la educación involucran el conocimiento, ya que es necesario conocer a qué se refiere la Industria 4.0, cómo se compone y cómo se utiliza. Todo esto se refiere a la capacitación del docente para utilizarla e integrarla en la educación y, finalmente, en el aprendizaje, donde los instructores de una institución educativa pueden aprender Industria 4.0 para poder aplicarla en el campo (Docente 4.0, 2019).

Metodología

En la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo del Instituto Politécnico Nacional, dentro del programa de Ingeniería en Sistemas Automotrices, se inició el desarrollo de un manual en realidad aumentada para dispositivos móviles Android como herramienta de aprendizaje de la Educación 4.0, utilizando los pilares tecnológicos de la Industria 4.0 para perfilar a los estudiantes hacia las exigencias en su desempeño profesional en el nivel industrial. La metodología consistió en las siguientes dos etapas:

1. Análisis cuantitativo del uso de la realidad aumentada y virtual en el área automotriz.
2. Metodología de cascada para desarrollar el manual y la aplicación.

Análisis cuantitativo del uso de la realidad aumentada y virtual en el área automotriz

Se realizó un análisis cuantitativo del estado del arte, tanto de la realidad virtual como de la realidad aumentada, aplicadas a la industria automotriz. Esto se hizo sobre la base de datos de Scopus, una de las más extensas de literatura científica, que incluye revistas científicas, libros y memorias de congresos (Elsevier, 2019). Este análisis se realizó para conocer los últimos avances en el uso de estas nuevas tecnologías en el ámbito de la industria automotriz, prestando especial atención a la educación y el entrenamiento. Para realizar las búsquedas, se utilizaron operadores

Booleanos y términos de exclusión, junto con términos relacionados con “augmented reality”, “automotive industry”, “automobile” y “training”. El intervalo de tiempo utilizado fue hasta la fecha límite del 12 de junio de 2019. Finalmente, tras un análisis detallado de los documentos, realizado de manera manual, para descartar tanto los duplicados como los que no eran relevantes para la investigación, se halló un total de 71 documentos, los cuales fueron posteriormente procesados por un programa en lenguaje R, del que se extrajo información estadística. De los 71 documentos encontrados, se observó un predominio de artículos originales publicados en memorias de congresos (49 documentos), seguidos por artículos originales publicados en revistas (16 documentos); mientras que, para los capítulos de libros, revisiones en revistas y las publicadas en congresos, se hallaron 2 de cada uno.

En cuanto al intervalo de tiempo, los primeros documentos que tratan acerca del uso de la realidad aumentada en la industria automotriz son los publicados por Freund J. y cols.; los artículos fueron presentados en el congreso “1st IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop” y describen un prototipo de realidad aumentada que muestra a los trabajadores de una línea de ensamble toda la información necesaria, como los componentes y herramientas a utilizar, lo cual puede usarse con fines educativos y de entrenamiento (Freund y cols., 2002).

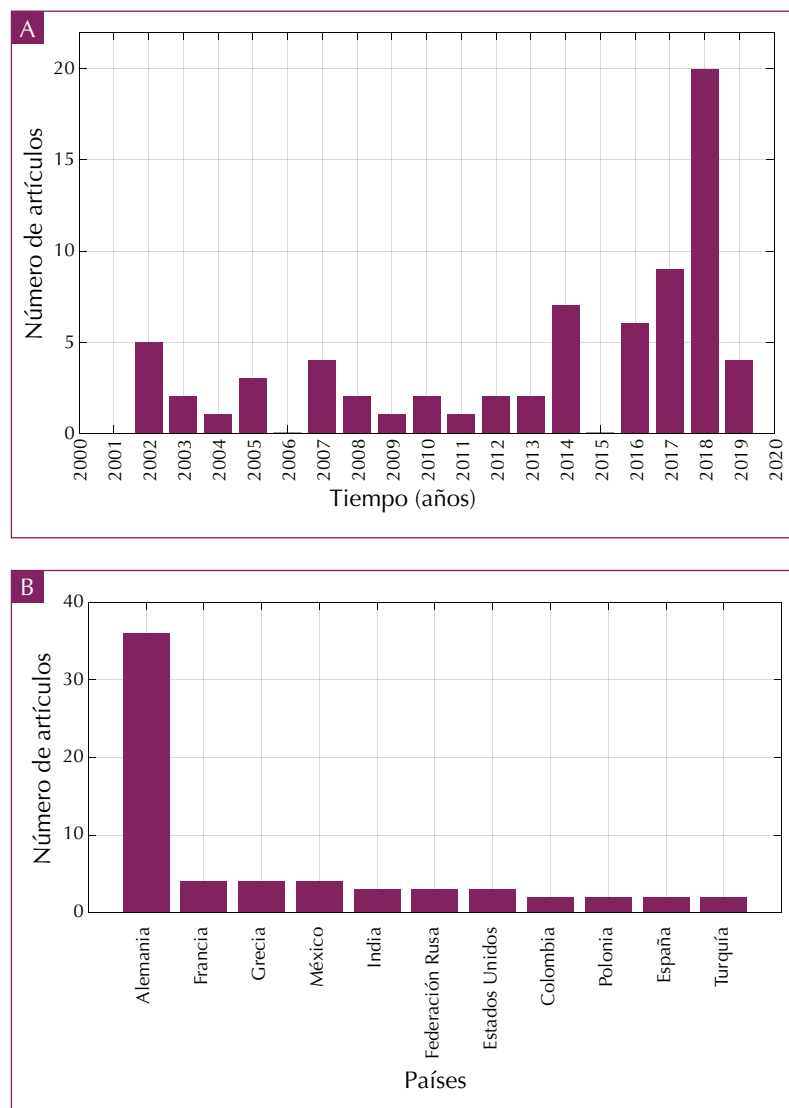
Por otro lado, presentaron un artículo que describe los posibles escenarios del uso de la realidad aumentada como auxilio para la fase de diseño inicial de nuevos automóviles (Freund J. y cols., 2002). Además, en el congreso “International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR”, se presentaron dos trabajos sobre el tema: en el primero, desarrollado por Fiorentino M. y cols., se muestra el diseño conceptual de un sistema para realizar diseños bosquejos en realidad mixta y se presenta como caso de estudio el dibujo de una carrocería (Fiorentino y cols., 2002); en el segundo, desarrollado por Noelle S., se describe el potencial para reducir costos en la industria automotriz al utilizar la realidad aumentada (Noelle, 2002). Finalmente, en la revista *Virtual Reality* se publicó el trabajo de Regenbrecht H. T. y cols., en el que se presenta un sistema de realidad virtual que permite la interacción entre diferentes participantes para el trabajo colaborativo, tanto en 3D como en 2D, implementándolo en un escenario de la industria automotriz al manipular un motor de manera virtual (Regenbrecht y cols., 2002).

Los resultados referentes al número de artículos publicados por año, país de los autores, institución de los autores y revista de publicación, se muestran en la figura 4a y b.

En las gráficas se puede observar que el número de documentos publicados sobre el tema ha ido en aumento hasta alcanzar un total de 20 publicaciones en el año 2018. Se observa que Alemania es el principal país de publicación de documen-

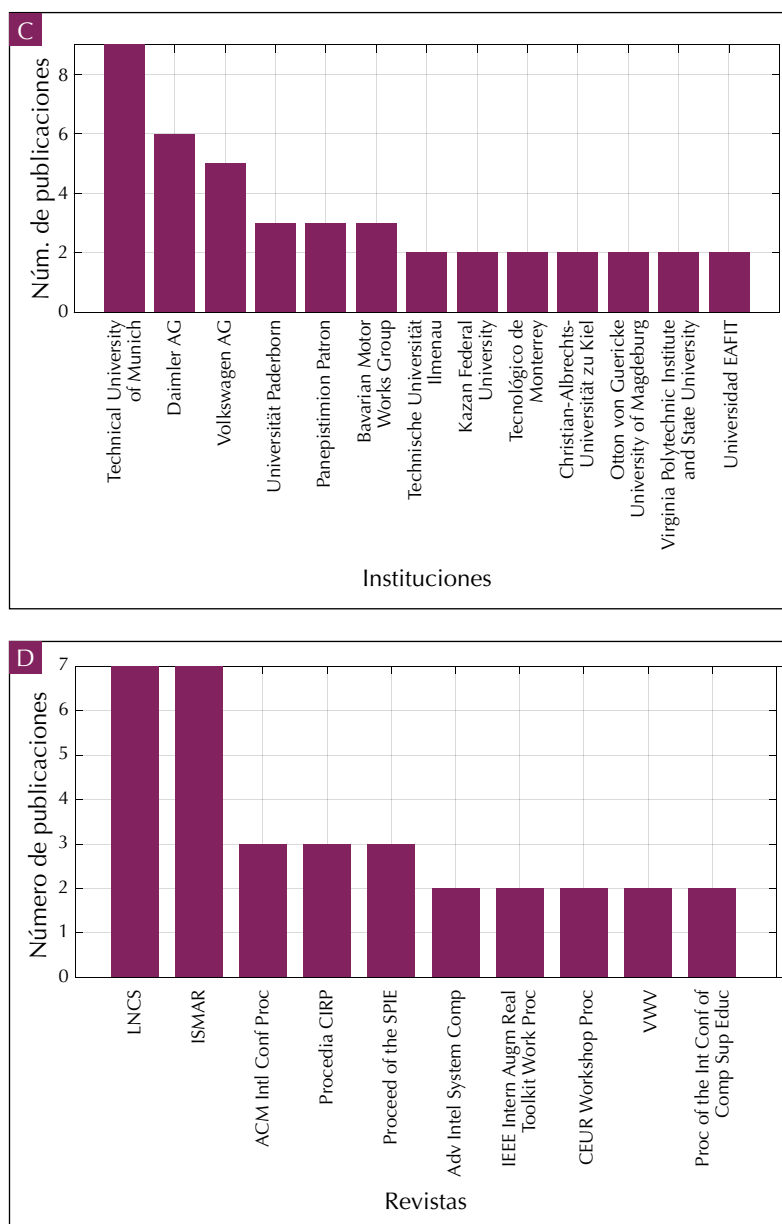
tos sobre realidad aumentada aplicada a la industria automotriz, con un total de 28 publicaciones, seguido por Francia, Grecia y México, con cuatro publicaciones respectivamente. Asimismo, las instituciones con mayor número de publicaciones son la Universidad Técnica de Múnich (9), Daimler AG (6) y Volkswagen AG (5), las cuales están realizando una importante inversión para implementar esta tecnología, ya sea como herramienta para capacitar a sus trabajadores o para mejorar la experiencia del conductor de los vehículos. Finalmente, cabe señalar que la mayor canti-

Figura 4a. Datos de los artículos de realidad aumentada en la industria automotriz, agrupados por (A) año de publicación, (B) país de afiliación.



dad de documentos encontrados se publicaron en memorias de congresos (69% de las publicaciones). Esto puede deberse a que esta tecnología aún se encuentra en una fase inicial y, por lo tan-

Figura 4b. Datos de los artículos de realidad aumentada en la industria automotriz, agrupados por (C) institución de los autores y (D) revista de publicación.



Nota: LNCS, Lecture Notes in Computer Science; ISMAR, International Symposium on Mixed and Augmented Reality; VMV, Visual Modeling and Visualization.

to, solamente se han desarrollado y presentado prototipos que, en algunos casos, se han probado en colaboración con empresas manufactureras de partes automotrices (Makarova y cols., 2016), de diseño automotriz (de Clerk y cols., 2017) o de ensamblado en interacciones humano-robot (Michalos y cols., 2016). Entre los textos publicados en memorias de congresos, cabe destacar la conferencia “International Symposium of Mixed and Augmented Reality”, que es la principal conferencia académica de carácter internacional en el campo de la realidad aumentada y la realidad mixta y es organizada por la IEEE. La primera conferencia se realizó en el año de 2002, en Darmstadt, Alemania, y como se mencionó, en ella se presentó un par de artículos sobre realidad aumentada aplicada a la industria automotriz.

Como se ha descrito en párrafos anteriores, la utilización de las tecnologías de realidad aumentada en el ámbito académico es pilar para la formación de nuevos ingenieros. En el sector productivo, dichas tecnologías son herramientas cada día más indispensables para los procesos de producción. La aplicación de la realidad virtual y de realidad aumentada, particularmente en el ámbito automotriz, ha servido como herramienta en la producción, en las pruebas de funcionamiento e incluso para la operación del producto generado. Por ejemplo, los inyectores de combustible para automóviles se rastrean con una marca específica para identificar el modelo y el lote de producción, pero, además, cada inyector posee un código QR individual que contiene características físicas individuales y datos de corrección para compensar la variabilidad intrínseca y las tolerancias de fabricación.

Esto implica que, cuando se instala o reemplaza un inyector, el nuevo código del inyector se escanea y se transfiere automáticamente a la unidad de control del motor para registrar los parámetros de corrección necesarios y así poder adaptar la cantidad inyectada de combustible (Bassi, 2017). Clerk y colaboradores realizaron un estudio para analizar cómo los estilistas y los decisores automotrices desean interactuar con los nuevos modelos digitales que tienden a sustituir el diseño automotriz tradicional, en el cual inicialmente se realiza un diseño en 2D y, posteriormente, un modelo 3D. La propuesta consta de seis técnicas de interacción: dos basadas en el habla, dos en gestos y dos táctiles. Los resultados mostraron que los usuarios prefieren una interacción directamente con una pantalla táctil y mediante el control de gestos (de Clerk y cols., 2017).

Por otro lado, es bien conocido que, para tareas de diagnóstico y mantenimiento, los automóviles cuentan con una interfaz en la que se pueden detectar fallas y errores, y que mediante un monitor o una impresión se pueden analizar los resultados. Sin embargo, el objeto al que se aplica el diagnóstico y los datos resultantes del mismo se separan espacialmente, por ejemplo, se ha utilizado la realidad aumentada como herramienta en las tareas

de diagnóstico y mantenimiento de automóviles, empleando un enfoque basado en marcadores para, en primera instancia, localizar la falla y, posteriormente, orientar al usuario sobre la ubicación de la misma usando una computadora portátil (Regenbrecht y cols., 2005). El uso de múltiples marcadores en posiciones bien definidas proporciona un seguimiento razonablemente preciso. En algunos de los estudios analizados se evaluó la efectividad del uso de la realidad aumentada para el entrenamiento, por ejemplo, en manufactura compleja (Gonzalez-Franco y cols., 2017). En este trabajo, se realizó una comparación entre el entrenamiento convencional cara a cara y un entrenamiento en realidad mixta, para luego realizar una evaluación tanto del conocimiento adquirido como de la retención de la información.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias poco significativas entre ambos métodos de entrenamiento, aunque se habla de una mejora al utilizar las herramientas de realidad aumentada. Además, se menciona que el uso de estas tecnologías tiene como beneficio el no requerir de equipamiento físico para el entrenamiento, lo cual reduce los costos y los riesgos asociados. Sin embargo, es importante mencionar que se requiere de un tiempo significativamente mayor para el entrenamiento mediante la realidad aumentada, debido quizás a la necesidad de un tiempo adicional para la familiarización con el equipo.

En el sector educativo, la realidad aumentada ha empezado a incorporarse como parte del currículo de diversos programas académicos de ingeniería. Klimova y colaboradores realizaron un estudio en el que mostraron que se ha implementado, primeramente, en programas académicos relacionados con medios creativos, tecnologías de medios, diseño multimedia, computación visual, gráficos por computadora; y, en segundo lugar, en programas de informática y las TIC, seguido por programas más especializados en el desarrollo de juegos, de biomedicina y de inteligencia artificial. Asimismo, en el estudio también se observó que la realidad aumentada en la mayoría de las universidades es un curso que suele ser de tipo optativo (Klimova y cols., 2018).

Por otro lado, son pocas las universidades donde se imparten programas, como la Ingeniería Mecánica y la Ingeniería Automotriz, que las han implementado en la formación de sus estudiantes. En el programa de Ingeniería Automotriz de la Universidad Coreana de Tecnología y Educación (Farkhatdinov y Ryu, 2017), se implementó un sistema de realidad aumentada cuyo objetivo principal fue capacitar a los estudiantes en el proceso de montaje y desmontaje de la transmisión automática de vehículos. En este trabajo se mostró que el proceso educativo es más interesante e intuitivo, aparte de que es económicamente más efectivo. Con base en la información descrita, en el presente trabajo se busca describir el desarrollo de un manual basado en la realidad aumentada que permita a los alumnos de Ingeniería en Sistemas

Automotrices del Instituto Politécnico Nacional entender el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos y su relación con el ciclo termodinámico Otto.

Metodología de cascada para el desarrollo de la aplicación

Se utilizó el método de cascada o *waterfall*, por estar basado en el análisis de los requisitos a cumplir por un programa de gestión desde el inicio. Es decir, una vez detectados los objetivos a alcanzar, el diseño y la planificación se orientan a obtener la solución. El diseño, en cambio, se encarga de asegurar que se cumplan los requisitos y necesidades acordados en el inicio del proceso, tal como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Método de cascada para el desarrollo de software.



Fuente: Cusumano, M. A. y cols., (1995). Beyond the waterfall: Software development at Microsoft. WP (International Center for Research on the Management of Technology).

Descripción de las etapas para el desarrollo del manual

Análisis

Se propuso realizar un manual en realidad aumentada dirigido a estudiantes del programa de Ingeniería en Sistemas Automotrices. Este manual debe presentar el funcionamiento del motor de cuatro tiempos en 3D con ayuda de la realidad aumentada en un

teléfono inteligente. Este recurso también debe permitir interactuar con los principales elementos del motor, además de contener información sobre el ciclo termodinámico Otto, para vincularlo con su funcionamiento y la composición de sus principales elementos. Todo esto, en un ambiente más inmersivo, ya que debe incluir elementos portables en realidad aumentada y permitir la consulta del contenido multimedia con el fin de reforzar el aprendizaje.

Diseño

Se diseñó una aplicación llamada 3D Engine para dispositivos Android, la cual funciona en conjunto con materiales impresos utilizados como marcadores de referencia para el correcto funcionamiento de la realidad aumentada (ver figura 6). En primera instancia, dentro de la aplicación se muestra una animación del motor en funcionamiento, enfocando con la cámara el marcador correcto. Posteriormente, por medio de un menú de botones laterales se continúa a distintas escenas particulares para cada una de las piezas del motor. Un último botón lleva a una escena en la que se explica el ciclo termodinámico del mismo.

Desarrollo

Modelado: las piezas que conforman el motor fueron diseñadas con un *software* de diseño (ver figura 7). Las piezas diseñadas se basaron en planos extraídos de libros especializados en donde se explican las dimensiones y características de cada pieza.

Desarrollo de animaciones: la herramienta de la animación es sumamente importante, ya que es una de las ventajas de las aplicaciones 3D y de la realidad aumentada. Para que la animación sea útil, es importante estudiar el proceso que se animará y haber modelado las piezas a una escala en la que sean compatibles unas con otras. Después de generar los modelos y las animaciones, se

Figura 6. Ejemplo de un marcador empleado para la aplicación de la realidad aumentada.

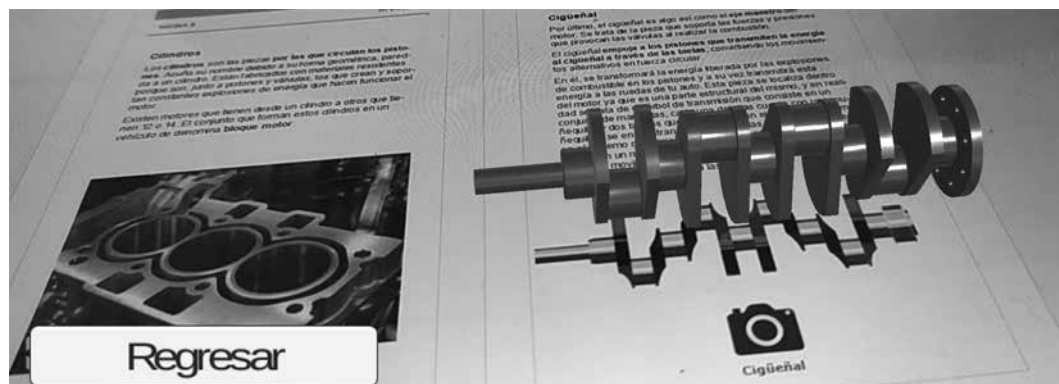
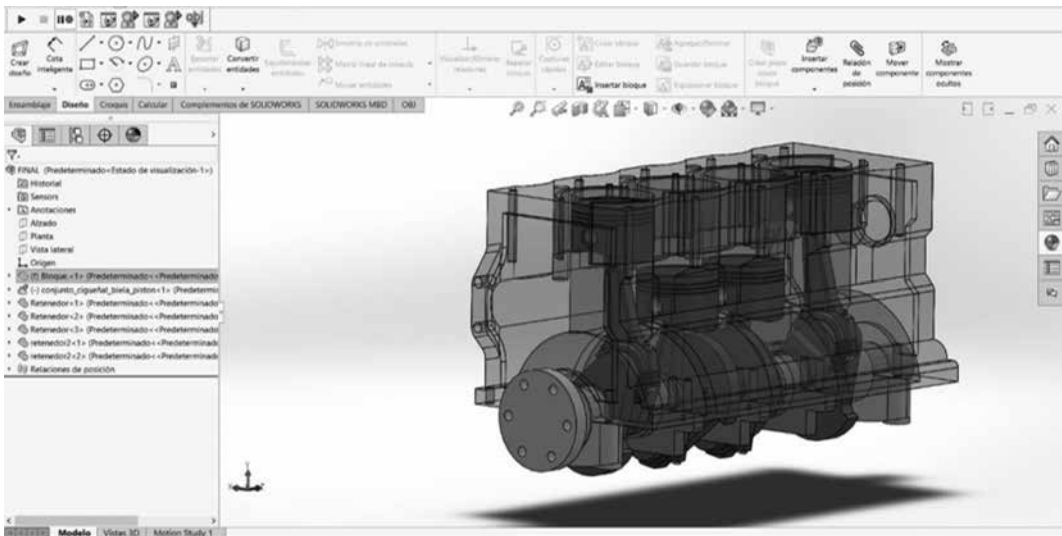


Figura 7. Fotografía del motor durante el diseño.



programaron los códigos, según la cronología de la función que se tome en el momento. Estos códigos (*scripts*) fueron desarrollados para las siguientes funciones:

- ▶ *Cambios de escena.* Se crearon diferentes escenas en la aplicación para poder gestionar mejor los recursos del dispositivo en donde se ejecute y que permita una mejor transición de las escenas.
- ▶ *Iniciar y detener la animación.* Algunas piezas y modelos tienen una animación predeterminada. Con esta opción se permite que el usuario pueda iniciar, pausar y detener la animación en cualquier momento.
- ▶ *Imágenes animadas.* Una imagen animada (GIF, del inglés Graphic Interchange Format) no se reproduce de manera automática por el motor gráfico; por lo tanto, se diseñó un *script* que pueda mostrar cada fotograma de la imagen animada en el orden específico.
- ▶ *Activar paneles de información.* Se decidió incluir paneles desplegados en la aplicación que dieran más información al usuario sobre el tema, para mejorar la comprensión y el interés en el momento en que se utilice alguna función.
- ▶ *Sonidos.* Los sonidos de la aplicación son redacciones de la información adicionales que completan las animaciones y modelos mostrados en tiempo real.

Pruebas de funcionamiento

Antes de implementar la aplicación en el dispositivo Android, se realizaron algunas pruebas en entornos y dispositivos emulados

desde un equipo de cómputo. Durante el proceso de depuración se detectaron algunas fallas en la aplicación desarrollada; sin embargo, éstas fueron corregidas. Después del proceso de depuración, la aplicación fue cargada en un dispositivo móvil, cuyas características fueron las siguientes: sistema operativo Android 5.1 con 1 Gb de memoria RAM, 70 Mb de almacenamiento disponible y cámara digital de 12 megapíxeles

Entrega

El proceso de desarrollo y de pruebas finalizó con el manual de usuario, mediante el cual se obtiene el conocimiento del funcionamiento de la aplicación, desde la instalación hasta el uso.

Descripción del *software* empleado

En la actualidad, el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada es más frecuente, ya que existe una gran variedad de *softwares* que facilitan tareas que van, desde fabricar los modelos en 3D, control de un motor gráfico que se encarga principalmente de contenidos digitales 2D y 3D, hasta elaborar las fichas de encriptación. Por medio de extensiones del mismo *software* es posible importar archivos de una plataforma a otra, con lo cual se reduce razonablemente el tiempo de elaboración. Los *softwares* como Solid Works, Unity 3D, Vuforia y Android Studio, en sus versiones gratuitas, cuentan con las herramientas necesarias para iniciar el diseño de aplicaciones móviles para dispositivos con sistemas operativos como Android.

- ▶ **Solid Works.** Es un *software* CAD (Diseño Asistido por Computadora) de modelado comúnmente utilizado en la industria automotriz y afines, que permite a los usuarios asociar y realizar tareas para la construcción de objetos con una visión de 360°, así como la realización de piezas diseñadas en 2D, 3D y animaciones.
- ▶ **Unity 3D.** Hoy en día existe una gran variedad de motores gráficos, como Unity Game Engine, la plataforma para crear juegos y experiencias interactivas 3D y 2D altamente optimizados como simulaciones de entrenamiento, visualizaciones médicas y arquitectónicas, en plataformas móviles, de escritorio (Microsoft Windows, OS X y Linux), *web* y consola, entre otras.
- ▶ **Vuforia.** Es un SDK que permite construir aplicaciones basadas en la realidad aumentada; una aplicación desarrollada con Vuforia utiliza la pantalla del dispositivo como un “lente mágico” en el que se entrelazan elementos del mundo real con elementos virtuales (letras, imágenes y demás). La cámara muestra, a través de la pantalla del dispositivo,

vistas del mundo real combinadas con objetos virtuales, como modelos, bloques de textos e imágenes, por ejemplo.

- ▶ **Android Studio.** *Software* que, en conjunto con Unity, permite la creación de la aplicación en un dispositivo móvil con cámara y sistema operativo Android.
- ▶ **Audacity.** Aplicación multiplataforma libre, que permite la grabación y la edición de audio.

El resultado final es una aplicación portable de realidad aumentada, la cual está a disposición de los usuarios que cuenten con dispositivos con sistema operativo Android o Windows y tengan una cámara incluida, la cual se utiliza para reconocer fichas que, al ser escaneadas por la cámara, muestran el modelo 3D correspondiente a la ficha. El dispositivo puede moverse para recorrer el modelo mientras la ficha está estática.

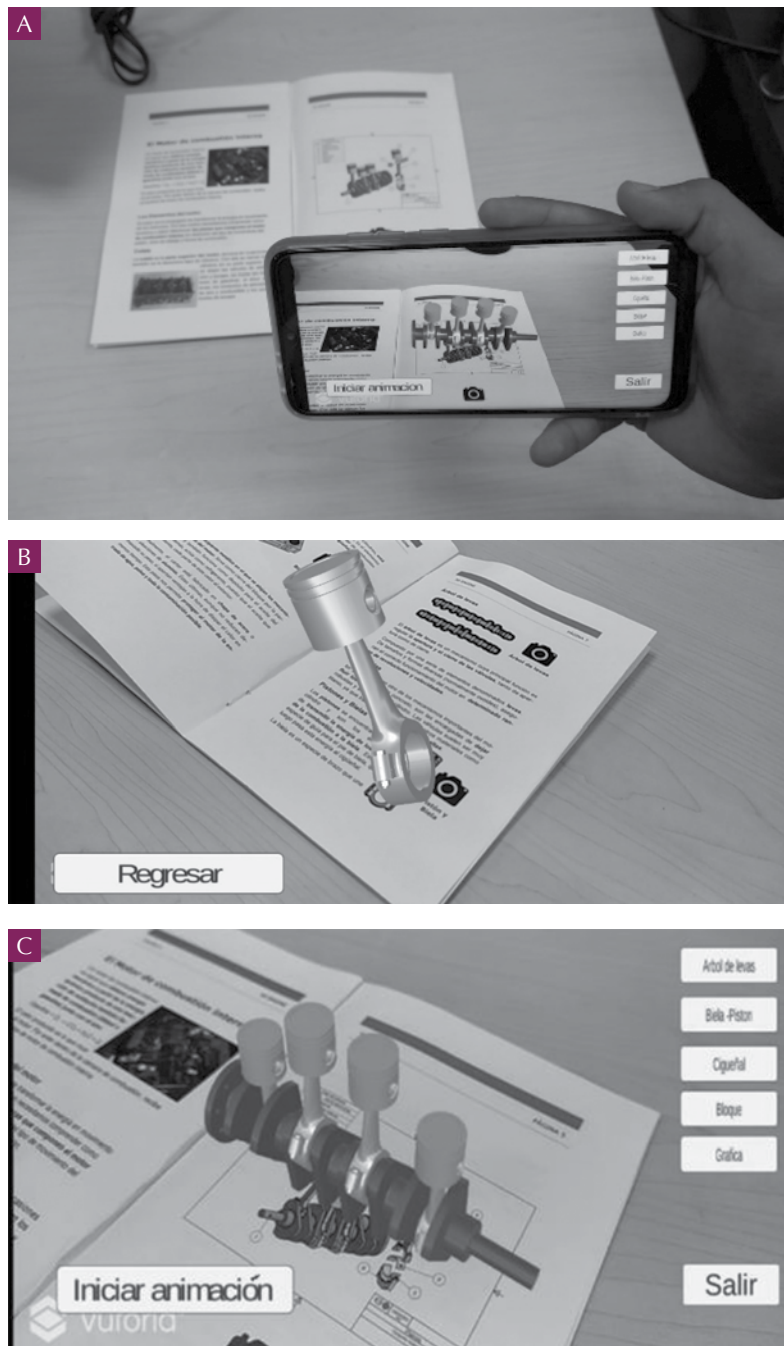
Resultados

Se desarrolló un manual portable en realidad aumentada, que presenta el funcionamiento del motor de cuatro tiempos. La información se presenta de manera interactiva, haciendo que la experiencia sea más inmersiva, con ayuda de los modelos 3D tanto del motor como de las partes que lo conforman de manera individual. Esto permite que el estudiante manipule las piezas, escuche información adicional sobre la composición de los materiales de cada sección del motor y su uso, y relacione el funcionamiento del motor con el ciclo termodinámico correspondiente, el ciclo Otto, desde la aplicación para dispositivos móviles. En la figura 8, se muestran fotografías de la aplicación del manual en funcionamiento.

Conclusiones

El avance en el desarrollo de nuevas tecnologías tiene un enorme potencial en el ámbito de la Educación 4.0, y el uso de dispositivos móviles puede ser un gran beneficio con el desarrollo de nuevas aplicaciones. Esta aplicación muestra un producto que no sólo puede usarse en el aula, ya que genera otro ambiente de aprendizaje portable. La realidad aumentada puede proporcionar a los usuarios una experiencia más inmersiva. Entre numerosos materiales didácticos, esta tecnología es considerada como uno de los pilares de la Industria 4.0 y, por lo tanto, una herramienta para la Educación 4.0. El uso de la realidad aumentada por los estudiantes puede ser una herramienta útil que, además de presentar información visual, es también una forma de analizar objetos en 3D en lugar de hacerlo a partir de una vista en 2D,

Figura 8. Fotografías de la aplicación en realidad aumentada generada en el manual. A) Vista por el usuario. B) Captura de pantalla de una pieza que conforma al motor. C) Captura de pantalla del funcionamiento del motor con el menú de opciones para obtener información de las piezas que lo componen (audio).



como sucede en los libros y en el pizarrón. Para lograr un mejor aprendizaje, la educación tiene que ser experimental e interactiva: aprendemos más de las experiencias prácticas que de clases tradicionales. La educación debe irse adaptando a la Cuarta Revolución Industrial para mejorar y facilitar el aprendizaje de los estudiantes y asegurar su adaptación al entorno laboral. El desarrollo y la implementación de estas herramientas permitirá perfilar a los estudiantes de ingeniería automotriz hacia lo que encontrarán en su desempeño profesional en el nivel industrial, donde la realidad aumentada desempeña un papel muy importante en el control de calidad, la identificación de fallos, los manuales de información, así como en los cursos de capacitación y manejo. El rápido crecimiento y la implementación de la Industria 4.0 implican que los alumnos de ingeniería deben adaptarse a la transformación digital.

Se declara que no existe conflicto de intereses respecto a la presente publicación.

Referencias

- Absalyamova S., y Absalyamov, T. (2015). Remote employment as a form of labor mobility of today's youth. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6, 227-231.
- Bassi, L. (2017). Industry 4.0: hope, hype or revolution? 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), Italy. US: IEEE.
- Baygin, M., Yetes, H., Karokose, M., y Akin, E. (2016). An effect analysis of Industry 4.0 to higher education. 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), Istanbul. US, IEEE.
- Ciolacu, M., Tehrani, A., Beer, R., y Popp, H. (2017). Education 4.0 — Fostering student's performance with machine learning methods. IEEE 23th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Rumania (pp. 438-443). US: IEEE.
- Coskun, S., Kayikci, Y., y Gencay, E. (2019). Adapting engineering education to Industry 4.0 vision. *Technologies*, 7(10), 1-13.
- Cusumano, M. A., y Smith, S. (1995). *Beyond the waterfall: Software development at Microsoft*. Cambridge, MA: International Center for Research on the Management of Technology. Working paper (Sloan School of Management), 3844-3895. Recuperado de: MIT Libraries. Website: <http://hdl.handle.net/1721.1/2593>.
- De Clerk, M., Schmierer, G., Dangelmaier, M., y Spath, D. (2017). Interaction techniques for virtual reality based automotive design reviews. En: Barbic J., D'Cruz M., Latoschik M., Slater M., Bourdot P. (Eds.). *Virtual Reality and Augmented Reality*. Laval, FR: EuroVR 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10700 (pp. 39-48): Berlín, DE: Springer.
- Diwan, P. (2017). Is Education 4.0 an imperative for success of 4th Industrial Revolution? Recuperado de: <https://medium.com/@pdiwan/is-education-4-0-an-imperative-for-success-of-4th-industrial-revolution-50c31451e8a4>

- Docente 4.0. (2019). Recuperado de: <https://docente.4-0.ipn.mx/index.php/educacion-4-0/>
- Erol, S., Jaeger, A., Hold, P., Ott, K., y Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future production. *Procedia CIRP*, 54, 113-118. Elsevier. About Scopus [actualizado 2019; último acceso agosto 18, 2019] Disponible en: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>.
- Florentino, M., De Amicis, R., Monno, G., Stork, A. (2002). Spacedesign: A mixed reality workspace for aesthetic industrial design. International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Darmstadt, Germany (pp. 86-96). US: IEEE.
- Foro Económico Mundial. (2016). Recuperado de: <https://www.weforum.org>
- Farkhatdinov I., y Ryu, J. H. (2009). Development of educational system for automotive engineering base on augmented reality. International Conference on Engineering, India. *Indian Journal of Science and Technology*.
- Fruend, J., Matyszczok, C., y Radkowski, R. (2002). AR-based product design in automobile industry. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Fruend, M., Grafe, M., Matyszczok, C., y Vienenkoetter, A. (2002). AR-based training and support of assembly workers in automobile industry. 1st IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, Germany. US: IEEE.
- Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R., Cermeron, J., Li, K., Thorn, J., Hutabarat, W., Tiwari, A., y Bermell-Garcia, P. (2017). Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training, *Front Robot AI*, 4:3.
- Hussin, A. (2018). Education 4.0 made simple: Ideas for teaching. *International Journal of Education & Literacy Studies*, 6(3), 92-98.
- Jun, Q., y Jing, X. (2017). Innovation Research on the Emerging Engineering Talent Cultivation Mode in the Era of Industry 4.0. 3rd International Conference on Industrial Informatics-Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration, China. US: IEEE.
- Klimova, A., Bilyatdinova, A., y Kasrsakov, A. (2018). Existing teaching practices in augmented reality. *Procedia Computer Science*, 136, 5-15.
- Makarova, I., Khabibullin, R., Belyaev, E., y Mavrin, V. (2016). Computer-aided training of engineers: Challenges and solutions. En: B. M. McLaren, G. Costagliola, J. Uho-moibhi, S. Zvacek (Eds.), *SciTePress*, 449-455.
- Michalos, G., Karagiannis, P., Makris, S., Tokçalar, Ö., y Chryssolouris, G. (2016). Augmented Reality (AR) Applications for Supporting Human-robot Interactive Cooperation. *Procedia CIRP*. 41. 370-375. 10.1016/j.procir.2015.12.005.
- Noelle, S. (2002). Stereo augmentation of simulation results on a projection wall by combining two basic ARVIKA systems, Germany (pp. 271-272). US: IEEE.
- Penprase, B. E. (2018). The Fourth Industrial Revolution and Higher Education. En: Gleason N. (Eds), *Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution* (pp. 207-229). Londres, RU: Palgrave Macmillan.
- Regenbrecht, H., Wagner, M., y Baratoff, G. (2002). Magicmeeting: A collaborative tangible augmented reality system, *Virtual Reality*, 6(3),151-166.
- Rifkin, J. (2014), *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. NY, US: Palgrave Macmillan.
- Simons, S., Abé, P., y Naser, S. (2017) Learning in the AutFab - the fully automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt, *Procedia Manufacturing*, 9, 81-88.
- The Boston Consulting Group (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Recuperado de: http://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx