

(09-005) - Development of the EII Virtual Museum (UMA) as a tool for dissemination and enhancement of Industrial Heritage

Trujillo Vilches, Francisco Javier ¹; Martín Béjar, Sergio ¹; Herrera Fernández, Manuel José ¹; Bermudo Gamboa, Carolina ¹; Sevilla Hurtado, Lorenzo ¹

¹ Universidad de Málaga

The study of Industrial Heritage is fundamental for understanding the technological, economic and social evolution of humanity, offering valuable lessons for innovation and sustainable development. However, it is a concept that is not widely disseminated academically among the different degrees of industrial engineering. Therefore, it is necessary to implement actions that integrate this concept into the academic training of students, allowing them to face contemporary challenges with a historical understanding of their discipline. The development of new technologies, such as virtual or augmented reality, has allowed the establishment of new museum scenarios where the limitations of real space can be overcome thanks to these technical resources, reducing the limitations of the traditional museum. Thus, in this work, the methodology for the development of a Virtual Museum for the School of Industrial Engineering of the University of Malaga is presented. An evaluation of the students' knowledge regarding the concept of Industrial Heritage has been carried out through a survey. Based on the results, a series of activities have been put into practice, generating a set of contents that have been included in the virtual museum, demonstrating its usefulness as a tool to overcome the deficiencies detected.

Keywords: Industrial Heritage; Virtual Museum; Virtual reality; Augmented reality

Creación del museo Virtual de la EII (UMA) como herramienta de difusión y puesta en valor del Patrimonio Industrial

El estudio del Patrimonio Industrial es fundamental para la comprensión de la evolución tecnológica, económica y social de la humanidad, ofreciendo lecciones valiosas para la innovación y el desarrollo sostenible. Sin embargo, se trata de un concepto poco difundido académicamente entre los distintos grados de ingeniería industrial. Por ello, se requiere poner en marcha actuaciones que integren este concepto en la formación académica del alumnado, permitiéndoles enfrentar desafíos contemporáneos con una comprensión histórica de su disciplina. El desarrollo de nuevas tecnologías, tales como la realidad virtual o aumentada, han permitido establecer nuevos escenarios museísticos donde las limitaciones del espacio real pueden ser superadas gracias a estos recursos técnicos, superando las limitaciones del museo tradicional. Así, en este trabajo se expone la metodología seguida para la creación del Museo Virtual de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga. Se ha realizado una evaluación del grado de conocimiento del concepto de Patrimonio Industrial en el estudiantado, mediante una encuesta. A tenor de los resultados, se han puesto en práctica una serie de actividades, generándose un conjunto de contenidos que han sido incluidos en el museo virtual, poniéndose de manifiesto su utilidad como herramienta para paliar las carencias detectadas.

Palabras clave: Patrimonio Industrial; Museo Virtual; Realidad virtual; Realidad Aumentada

Correspondencia: Francisco Javier Trujillo Vilches, trujillov@uma.es



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Universidad de Málaga, en el marco del proyecto de innovación educativa con referencia PIE22-094 “Desarrollo y uso de herramientas didácticas a través de la creación del Museo Virtual de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga”, así como al Grupo de Trabajo de Patrimonio Industrial de Fabricación (PATRIF) de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (SIF-MES), por su contribución a este trabajo.

1. Introducción

El Patrimonio Industrial se compone de elementos de la cultura industrial que poseen valor histórico, tecnológico, científico, social o arquitectónico, incluyendo documentos, bienes muebles, inmuebles o inmateriales (IPCE, 2023). Este concepto encapsula la evolución de las técnicas, procesos y prácticas de ingeniería a lo largo de la historia, reflejando, no solo avances tecnológicos, sino también cambios socioeconómicos y culturales que han influido en el desarrollo industrial, dejando una huella duradera en nuestra sociedad (Musson & Robinson, 1969). El concepto de Patrimonio Industrial es esencial para comprender la transformación de las comunidades desde economías agrarias hacia sociedades industriales y postindustriales (Duet, 2013).

Uno de los aspectos claves para la conservación y puesta en valor del Patrimonio Industrial es la formación a todos los niveles, tal y como se recoge en la “Carta de Nizhny Tagil sobre el Patrimonio Industrial” (TICCIH, 2003). En ella se incide en la importancia de la formación en aspectos metodológicos, teóricos e históricos del Patrimonio Industrial a nivel universitario. Este concepto emerge como uno de los pilares fundamentales en la formación integral de futuros ingenieros industriales, propiciando un puente entre la evolución histórica de la tecnología y las dinámicas contemporáneas de innovación y desarrollo sostenible (Hadgraft & Kolmos, 2020). Esta intersección no solo enriquece la comprensión académica de los estudiantes sobre la ingeniería y su impacto a lo largo del tiempo, sino que también les dota de perspectivas críticas esenciales para abordar los retos actuales y futuros de manera informada y reflexiva. Esta formación es esencial para dar respuesta a los retos de la ingeniería en el siglo XXI, considerando como base los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en el contexto de los requisitos cada vez más exigentes de la industria 4.0 (Rivera et al., 2020).

A pesar de su importancia, la integración de este concepto en los currículos de ingeniería industrial sigue siendo insuficiente, suponiendo una oportunidad perdida para aprovechar plenamente las enseñanzas que ofrece el análisis de la evolución tecnológica y su correlato socioeconómico (Sánchez-Casado et al., 2023). La educación en este campo no solo debería aspirar a la transmisión de conocimientos técnicos, sino también a la formación de profesionales capaces de contextualizar su labor dentro de un marco histórico-cultural amplio, promoviendo así una visión global de la ingeniería, que abarque tanto sus logros como sus desafíos éticos y ambientales.

Por otra parte, los museos especializados en técnica e industria son un medio de especial relevancia para la protección, conservación e interpretación del Patrimonio Industrial (Sebastián et al., 2023). La forma en que las nuevas generaciones se acercan a los contenidos culturales ha cambiado radicalmente en los últimos años, debido a la irrupción de los medios audiovisuales, las nuevas tecnologías digitales y contenidos en línea, que han venido a sustituir a los medios expositivos tradicionales (Sánchez-Casado et al., 2023). De este modo, tecnologías como la realidad aumentada (RA) o la realidad virtual (RV) son cada vez más utilizadas para mostrar reconstrucciones virtuales de un determinado bien patrimonial, ayudando notablemente a su comprensión e interpretación (Baviera Llópez et al., 2018). Estas técnicas permiten representar los elementos en tres dimensiones, facilitando que los usuarios interactúen con el modelo de una forma sencilla, acercándose en mayor medida al conocimiento generado por dicho modelo (López Chávez et al., 2020). La inmersión y el realismo que ofrecen la RV y la RA facilitan una comprensión más profunda y retentiva del patrimonio. Estas tecnologías pueden simular entornos y situaciones que ya no existen o son inaccesibles, proporcionando una herramienta educativa muy efectiva.

Los modelos y entornos generados mediante RA y RV permiten modernizar la presentación del patrimonio, haciéndolo más accesible y atractivo para el público general. Esto no solo

atrae a un público más amplio, sino que también mejora la experiencia educativa al hacer que la información sea más relevante y completa (Hain & Hajtmanek, 2021). Al presentar la información de manera más dinámica y visual, estas tecnologías capturan la atención de los visitantes y les permiten explorar el patrimonio de formas nuevas e innovadoras, aumentando el interés y la interactividad del público con el bien patrimonial (Wen et al., 2023). Además, permiten a personas de cualquier lugar del mundo tener una experiencia junto a un elemento que se encuentra ubicado a miles de kilómetros de distancia (Novotný et al., 2013).

La digitalización de bienes patrimoniales puede considerarse como una oportunidad para la generación de registros que perduren en el tiempo, transmitiendo a la sociedad hechos que ocurrieron en un tiempo pasado (Zhong et al., 2021). Por tanto, estas técnicas juegan un papel crucial en la conservación del Patrimonio Industrial al permitir la documentación detallada de lugares y objetos patrimoniales. Esto es vital para la investigación y la preservación a largo plazo, ya que proporciona una manera de salvaguardar digitalmente el patrimonio contra el deterioro físico o la pérdida, siendo de especial relevancia cuando la restauración física no es posible (Ortiz-Zamora et al., 2023). Combinadas con otras técnicas de ingeniería inversa, tales como el escaneado láser o la fotogrametría, hacen posible la reconstrucción digital del bien patrimonial con un coste económico y material significativamente inferior al que supondría su reconstrucción física. Esto es de especial relevancia cuando el bien se encuentra inicialmente muy deteriorado. En otros casos únicamente se conserva información documental, como la patente o un manual de uso, recurriéndose a esta información para la reconstrucción digital del bien. Este es el caso de numerosas máquinas y artilugios mecánicos de elevada relevancia histórico-patrimonial (Trujillo et al., 2023).

Finalmente, cabe destacar que estas tecnologías son herramientas englobadas dentro del concepto de Industria 4.0, utilizándose para la formación y capacitación de profesionales, simulando situaciones complejas o peligrosas sin los riesgos asociados (Gavish et al., 2015). Por tanto, podrían ser de gran utilidad en el desarrollo de programas educativos y de capacitación que utilicen simulaciones para enseñar sobre procesos y técnicas industriales históricas.

Dentro de este contexto se encuentra el presente trabajo, en el que se expone la metodología seguida para la creación del Museo Virtual de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de la Universidad de Málaga (UMA). Este museo tiene como objetivo visibilizar, difundir y poner en valor el Patrimonio Industrial, tratando de paliar, al menos en parte, las lagunas educativas detectadas al respecto. Mediante la realización de una encuesta, se ha determinado el grado de conocimiento de este concepto entre el estudiantado de diversos Grados en Ingeniería Industrial de la UMA. A tenor de los resultados, se han puesto en práctica una serie de actividades, en las que los alumnos han participado de forma activa, generándose un conjunto de contenidos para su inclusión en el museo. Una de las principales aportaciones ha sido la creación de una exposición en realidad aumentada de modelos virtuales de máquinas y otros elementos de relevancia patrimonial industrial, así como una sala expositiva de estos elementos en realidad virtual. Una segunda encuesta realizada a los alumnos tras la realización de estas actividades ha puesto de manifiesto la utilidad de este tipo de acciones como herramientas divulgativas y de adquisición de conocimientos relacionados con el Patrimonio Industrial.

2. Método de investigación

En primer lugar, se diseñó una encuesta dirigida al alumnado que cursa sus estudios en los distintos Grados en Ingeniería Industrial impartidos en la EII de la UMA, cuyo objetivo era tener una primera aproximación a su nivel de conocimiento sobre el concepto de Patrimonio Industrial, así como a la necesidad de potenciar estas temáticas dentro de estos Grados. Además, recoge su opinión sobre la creación de un museo en la EII y sus contenidos. Para

abarcar un espectro de opiniones amplio, en función del nivel de madurez del alumnado en sus estudios, la encuesta se realizó en los cursos de segundo y cuarto. Los Grados seleccionados fueron, para segundo curso, el Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto (GIDP) y el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI). En cuarto curso, la encuesta se realizó en el Grado en Ingeniería Mecánica (GIM), Doble Grado en Ingeniería Eléctrica y Mecánica (DB GIE-GIM) y el Doble Grado en Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial y Desarrollo del Producto (DB GIM-GIDP). La encuesta, de carácter voluntario, se diseñó para una duración aproximada de 5 minutos, dividiéndose en un total de cinco secciones:

- 1ª Sección: Recopilación de los datos del curso y Grado del alumnado.
- 2ª Sección: Identificación del nivel de conocimiento del alumnado sobre el concepto de Patrimonio Industrial. En caso de desconocerlo, breve exposición de los motivos.
- 3ª Sección: Valoración del nivel de profundidad con el que se tratan y explican conceptos relacionados con la evolución histórica de las tecnologías relacionadas con las materias cursadas.
- 4ª Sección: Identificación del nivel de interés que suscita la creación de un museo en la EII de la UMA, así como las preferencias sobre la creación de un museo físico, virtual o combinado, y sus contenidos.

Para el diseño e implementación de la encuesta se utilizó la aplicación Microsoft Forms, siendo accesible de forma sencilla a través de un PC o cualquier dispositivo móvil mediante un código QR (Figura 1).

Figura 1: Acceso a la encuesta mediante dispositivo móvil y código QR



A tenor de los resultados obtenidos, expuestos en la sección homónima, se diseñaron un conjunto de actuaciones encaminadas a tratar de paliar las carencias detectadas y destinadas a la creación del Museo de la EII de la UMA. Se pretende que tenga un carácter vivo y en continuo crecimiento, haciendo partícipe al alumnado y al resto de profesorado de la creación de sus contenidos y uso, fomentando el aprendizaje por proyectos, además de sensibilizar en la conservación del Patrimonio Industrial y facilitar la accesibilidad universal y su internacionalización. Aunque el museo dispondrá de una sección física y otra virtual, este trabajo se centra en el desarrollo de su sección virtual. Las actividades propuestas fueron las siguientes (Figura 2):

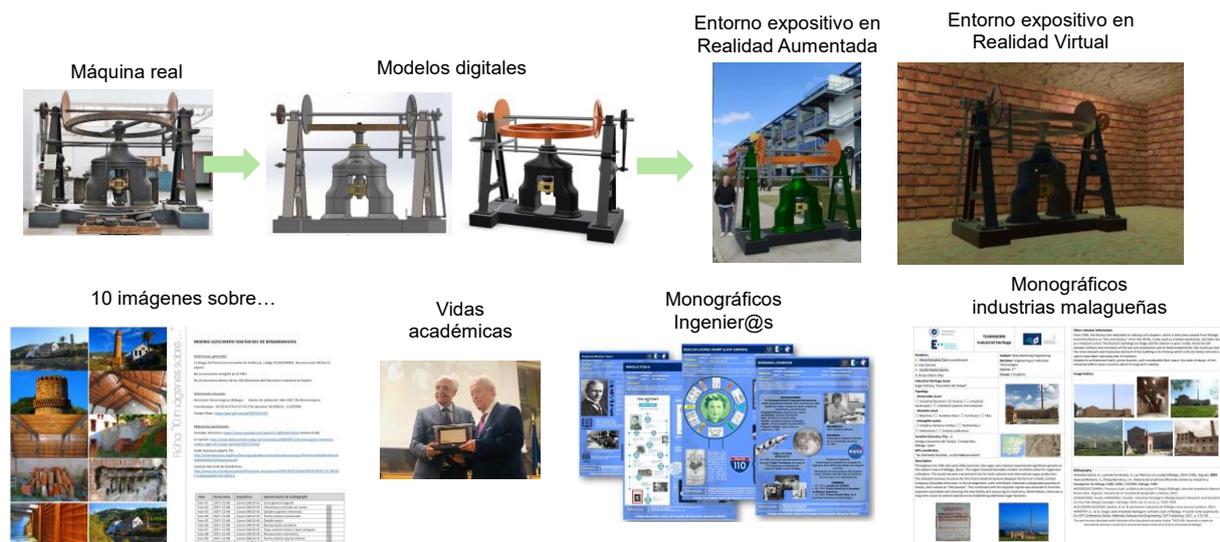
- Creación de modelos digitales de máquinas y otros elementos con valor histórico dentro del Patrimonio Industrial.
- Creación de entornos expositivos para los modelos digitales desarrollados. Se han utilizado tecnologías de RA que permiten visualizar los modelos en un entorno real, así como tecnologías de RV que permiten interactuar con estos modelos en un entorno virtual.
- Iniciativa “10 imágenes sobre...”. A través de una ficha se aporta un conjunto de imágenes e información sobre un determinado bien del Patrimonio Industrial. Se trata de una

actividad basada en una iniciativa desarrollada por el Grupo de Trabajo en Patrimonio Industrial de Fabricación (PATRIF, 2024), perteneciente a la Sociedad de Ingeniería de Fabricación.

- Iniciativa “Vidas académicas en ingeniería industrial”. A través de esta actividad se pretende generar contenidos multimedia que pongan en valor las trayectorias científicas y docentes de grandes profesores de nuestras Escuelas de Ingeniería Industrial. Esta actividad está basada en un programa de radio creado por Universidad Nacional de Educación a Distancia, a través de una serie homónima (UNED, 2024).
- Trabajos monográficos sobre ingenieras e ingenieros con aportaciones relevantes al desarrollo tecnológico de la humanidad. Se han generado contenidos en forma de fichas y pósteres para su consulta y exposición.
- Trabajos monográficos sobre industrias malagueñas con especial relevancia histórico-patrimonial. Se han generado fichas, informes y contenidos audiovisuales para su consulta y exposición.

La creación de estos contenidos se ha articulado mediante la realización de diversas acciones, tales como Trabajos Fin de Grado (TFG) y Máster (TFM), así como trabajos en grupo desarrollados en diversas asignaturas. Estos contenidos pueden ser utilizados tanto en el museo físico como en el museo virtual (accesible mediante un entorno web).

Figura 2: Acciones destinadas a la creación de contenidos para el museo virtual



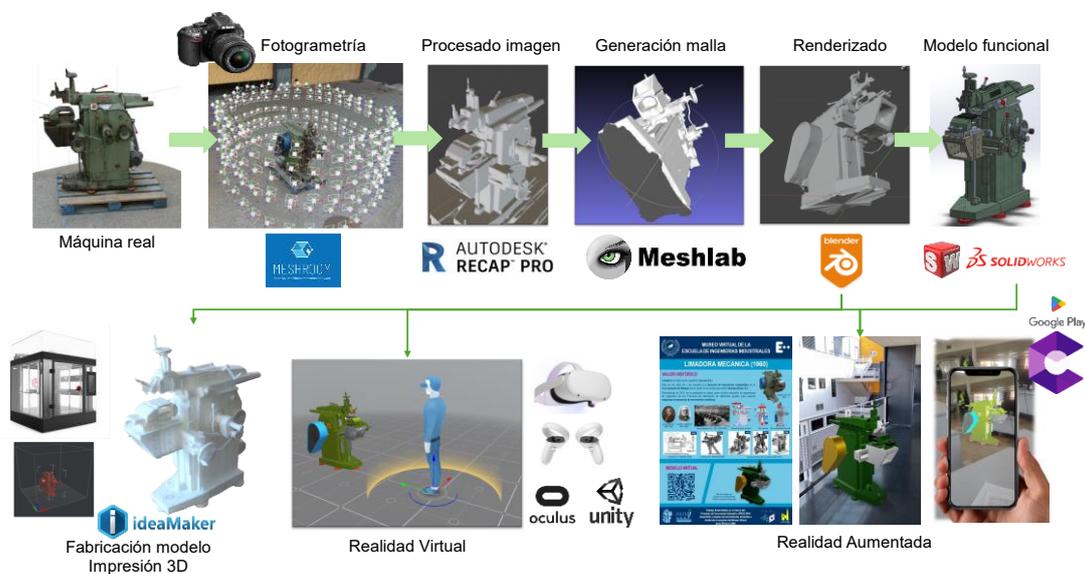
Dada la diversidad de actividades realizadas, este trabajo se centra en la exposición de la metodología y los resultados vinculados a la creación de modelos digitales y su exposición en entornos de realidad aumentada y virtual. Respecto de la generación de los modelos digitales, se han desarrollado dos metodologías distintas, dependiendo de si se conserva algún ejemplar del bien patrimonial o si solo existe documentación asociada (patentes, planos, dibujos, ilustraciones o manuales, entre otros).

En el primero de los casos, la metodología seguida se expone en la Figura 3. El primer paso consiste en la aplicación de técnicas de ingeniería inversa que permitan obtener las dimensiones y geometría del bien analizado. Dada la gran cantidad de componentes y complejidad que suelen tener estos elementos, es difícil abordar un proceso de medida directa. Por ello, se ha recurrido a la aplicación de técnicas de fotogrametría (o alguna otra alternativa como el escaneado láser), mediante las cuales se genera una nube de puntos que permite la obtención de un modelo aproximado del bien analizado.

Para la adquisición de las imágenes (técnica de fotogrametría) se utilizó una cámara réflex digital. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, donde se reconstruye el modelo de una limadora, se tomaron un total de 350 imágenes, colocando la cámara en diferentes posiciones a 1,25 m de distancia, cubriendo 360° en torno a la máquina-herramienta. Estas imágenes se procesaron mediante el software Meshroom, que permite obtener una geometría en 3D (nube de puntos) a partir de un conjunto de fotografías. La nube de puntos sin refinar fue exportada al software Autodesk Recap Pro, para su visualización, manipulación y edición. Una vez tratada, se generó un primer modelo en 3D. Mediante la utilización del software Meshlab se procedió a generar una malla del modelo, así como a su limpieza, eliminando vértices duplicados, aristas múltiples, vértices y caras nulas. Una vez optimizado el modelo, se procedió a su renderizado mediante el software Blender, que permite dotarlo de textura y hacerlo manejable para su uso en aplicaciones de RA y RV. El modelo también se exportó a SolidWorks, donde se trabajó sobre él para generar piezas individuales y despieces que permiten realizar un análisis funcional de la máquina-herramienta. Se debe tener en cuenta que la fotogrametría solo permite obtener la geometría exterior del bien. La reconstrucción de las zonas interiores se realiza a partir de información existente sobre el mismo (manuales, planos, dibujos, etc.), trasladándola al modelo en SolidWorks.

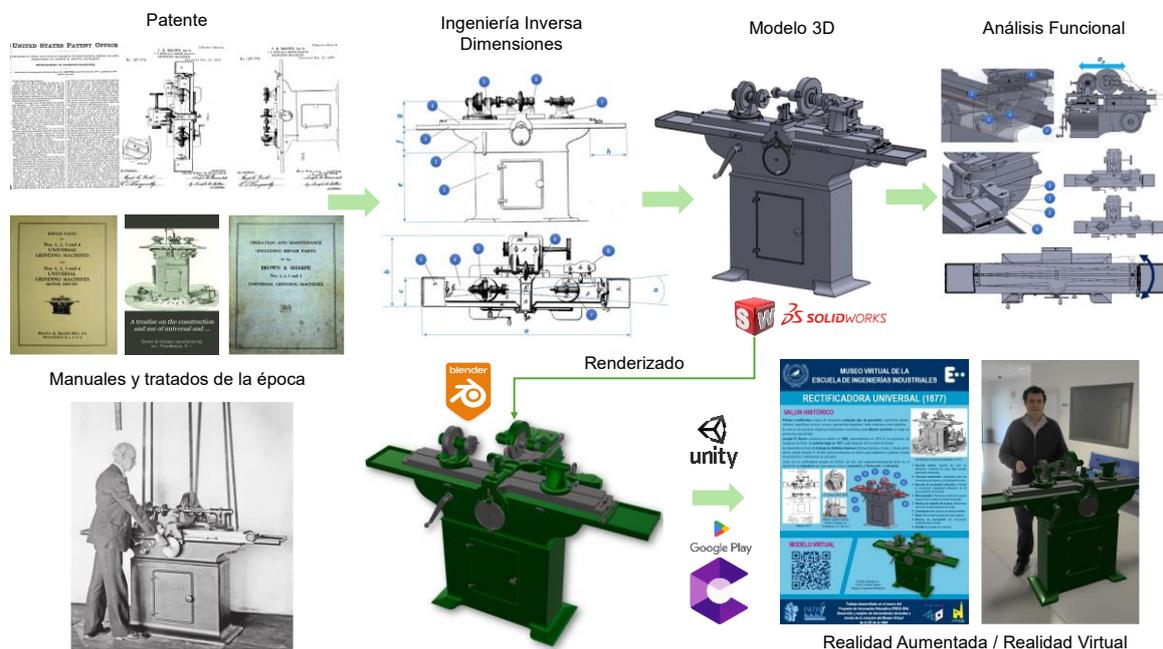
Una vez generado el modelo en 3D, se puede utilizar para la fabricación de una maqueta mediante tecnologías de fabricación aditiva. Para el tratamiento del modelo y la obtención del código CNC de impresión se usó el software ideaMaker. Para la exposición del modelo en un entorno de realidad virtual se recurrió al uso de gafas de realidad virtual, controladas mediante el software Oculus de Metaquest. La generación del entorno virtual y la inserción del modelo en su interior se programó mediante el uso del software Unity. El entorno virtual generado permite la interacción del usuario con la máquina, visualizando su funcionamiento y principales movimientos, mediante la ayuda de dos mandos situados en las manos. El acceso a la visualización del modelo en un entorno de realidad aumentada se llevó a cabo a través de la generación de un código QR y del uso de los servicios de Google Play para RA, que permite el acceso al modelo en realidad aumentada mediante el uso de cualquier dispositivo móvil. El código QR de cada bien se encuentra incluido en un póster, donde además se recoge información relevante respecto de su valor histórico-patrimonial y funcionamiento. Estos pósters se han impreso para generar una sala expositiva de realidad aumentada en el museo físico. También se encuentran incluidos en la página web del museo virtual y en un catálogo de la exposición.

Figura 3: Metodología de creación del modelo digital cuando existe un ejemplar del bien



La metodología seguida en el segundo de los casos, cuando no se conserva el modelo original del bien analizado, se muestra en la Figura 4. En este caso se utilizan técnicas de ingeniería inversa sencillas para la creación del modelo digital, utilizando la información recogida en la patente, manuales de la época, planos, esquemas o dibujos, entre otros. A partir de esa información, se obtienen las principales dimensiones del bien, utilizando el software SolidWorks para su modelado y análisis funcional. A veces, la información es escasa, disponiendo exclusivamente de imágenes o dibujos donde no se reflejan sus dimensiones. En esos casos, hay que partir de una serie de hipótesis para la generación de su geometría (altura de un operario, máquinas similares, elementos normalizados, etc.). El modelo se parametriza, con objeto de poder cambiar de forma sencilla sus dimensiones en el caso de encontrar en el futuro información más precisa al respecto. Una vez generado el modelo, se procede de forma similar al caso anterior, generando el renderizado que permita su utilización en un entorno de RA o RV.

Figura 4: Metodología de creación del modelo digital a partir de información documental

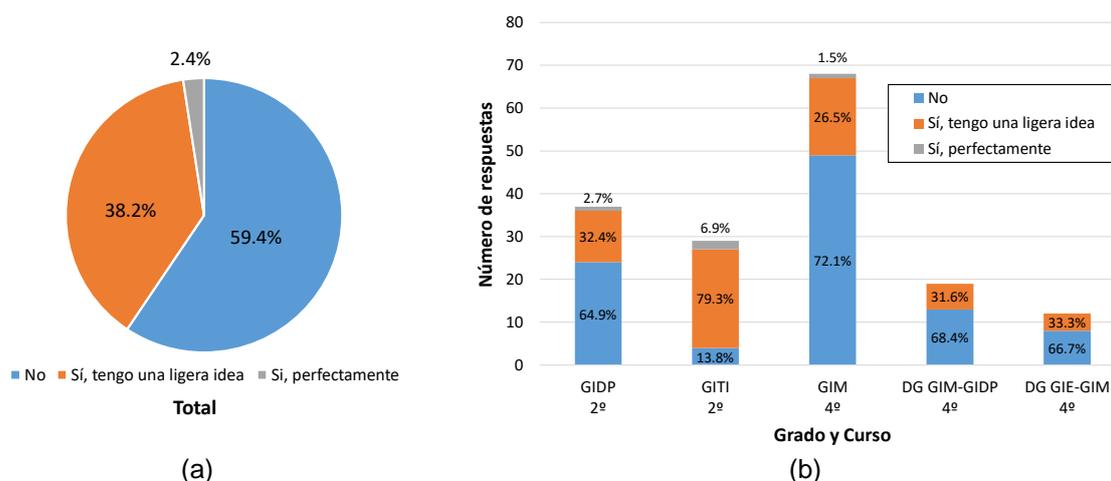


3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de la encuesta realizada al alumnado con el fin de conocer su grado de conocimiento sobre el concepto de Patrimonio Industrial, así como sus preferencias a la hora de crear un museo. Se realizaron un total de 165 encuestas entre el alumnado de distintos Grados de la EII de la UMA. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos a la pregunta “¿Conoce el concepto de Patrimonio Industrial?”. Como se puede observar, el 59.4% del alumnado encuestado manifestó un desconocimiento total de este concepto. El 38.2% mostró un ligero conocimiento, y solo el 2.4% afirmó conocerlo perfectamente. Analizando los datos por grupo, se puede observar cómo, para la mayoría de los grupos, el porcentaje de la respuesta “No” osciló entre el 64.9% (GIDP) y el 72.1% (GIM). Sin embargo, para el grupo de GITI este porcentaje fue mucho menor (13.8%). Esto se debe a que, en el momento de realización de la encuesta, los alumnos de GITI se encontraban ya trabajando en una actividad grupal relacionada con el estudio de industrias malagueñas de relevancia histórica, dentro de la asignatura “Ingeniería de Fabricación”. Para la realización de esta actividad, el profesorado llevó a cabo una clase introductoria sobre el concepto de Patrimonio Industrial y su relevancia en los estudios de Grado en Ingenierías Industriales. Así,

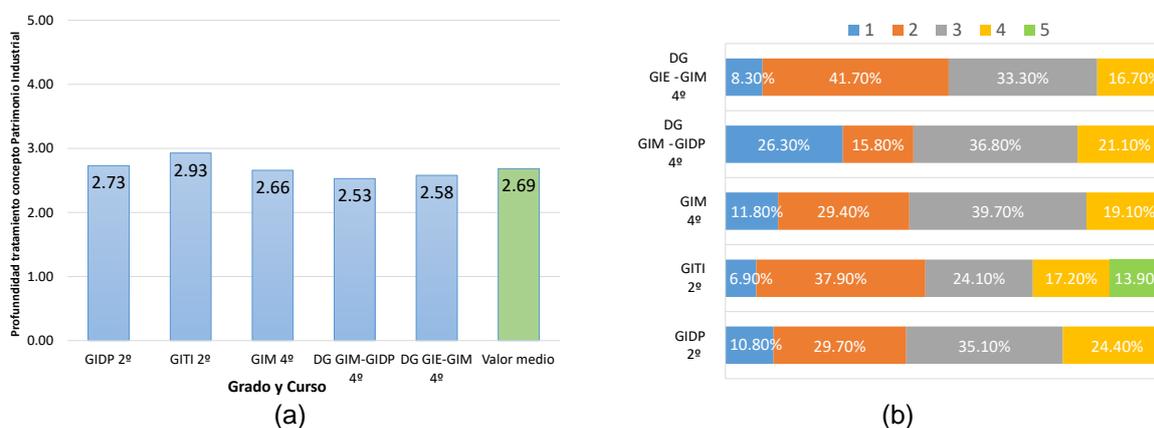
el porcentaje de respuestas “Sí, tengo una ligera idea” se incrementó hasta el 72.1%, frente a un porcentaje que osciló entre el 26.5% y el 33.3% para el resto de los grupos. Por tanto, el grupo de GITI se utilizó como grupo de control para identificar el efecto de la actividad grupal desarrollada sobre la mejora del conocimiento del alumnado sobre la temática patrimonial. A los alumnos que contestaron “No” a la pregunta se les indicó que explicaran brevemente las causas de este conocimiento. La mayor parte expresó la falta de información y contenidos al respecto, tanto en su etapa de estudios de Educación Secundaria cómo en el Grado Universitario que se encontraban cursando.

Figura 5: Grado de conocimiento del alumnado del concepto de Patrimonio Industrial: a) total; b) respuestas por Grado y curso



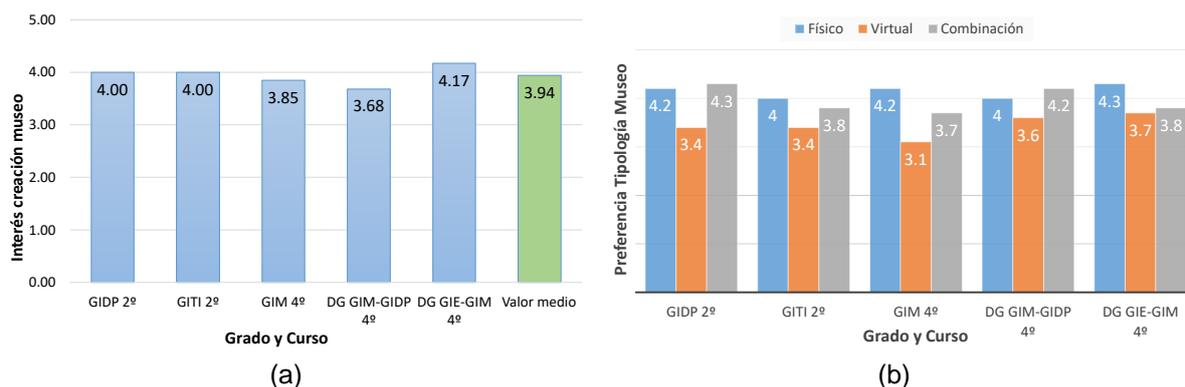
En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos a la pregunta “¿Con qué profundidad considera que, en los estudios en los que se encuentra matriculado, se han tratado y explicado conceptos relacionados con la evolución histórica de aspectos tecnológicos relacionados con las materias cursadas?”. El valor medio se situó en 2.69, siendo 1 “No se han tratado” y 5 “Se han tratado de forma extensa”. En general, la mayor parte de las respuestas se situó entre un valor de 2 y 3, identificando un valor intermedio en el nivel de tratamiento y explicación de los conceptos analizados. El único grupo en el que se recogieron respuestas con valoración 5 fue el grupo de GITI, donde un 13.9% del alumnado respondió que se habían tratado de forma extensa. De nuevo, este grupo fue el que obtuvo una mayor valoración media de la pregunta planteada, situándose en un 2.93.

Figura 6: Profundidad de tratamiento del concepto de Patrimonio Industrial en el Grado: a) total; b) respuestas por Grado y curso



La Figura 7 muestra el nivel de interés del alumnado en la creación de un museo que aborde esta temática, así como sus preferencias por un museo de tipo físico, virtual o combinado. El valor medio de las respuestas se sitúa prácticamente en 4, correspondiendo el valor 1 a la respuesta “Nada interesante” y el 5 a “Muy interesante”. Este valor pone de manifiesto un grado de interés alto del alumnado por la creación de un museo que permita acceder a información relacionada con el Patrimonio Industrial. En cuanto a las preferencias, aquel que despierta un mayor interés es el museo físico, seguido del museo combinado (físico y virtual).

Figura 7: a) Interés del alumnado por la creación de un museo sobre Patrimonio Industrial; b) Preferencias sobre la tipología del museo



Los resultados de la encuesta muestran un grado de conocimiento bastante bajo por parte del alumnado de conceptos relacionados con el concepto de Patrimonio Industrial, debido fundamentalmente a la falta de contenidos al respecto en los estudios de Grado. Sin embargo, el alumnado muestra su interés por incrementar su grado de conocimiento en la materia, considerando bastante interesante la creación de un museo que aborde esta temática.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos tras poner en marcha algunas de las actividades recogidas en la sección de metodología, con el fin de crear contenidos para la creación de la sección virtual del museo. En concreto, se exponen los resultados obtenidos a través de las actividades relacionadas con la creación de modelos digitales de máquinas y otros elementos con valor histórico dentro del Patrimonio Industrial, así como con la creación de entornos expositivos en realidad aumentada y virtual.

3.1 Exposición en Realidad Aumentada

En una primera fase, se procedió al desarrollo de un conjunto de Trabajos Fin de Estudios (TFEs) cuyo objetivo fue la creación de modelos de máquinas-herramienta y otros dispositivos mecánicos de relevancia histórico-patrimonial, utilizando la metodología recogida en las Figuras 3 y 4. En una segunda fase, se desarrollaron otro conjunto de TFEs destinados a la generación de exposiciones en realidad virtual y aumentada de los modelos generados.

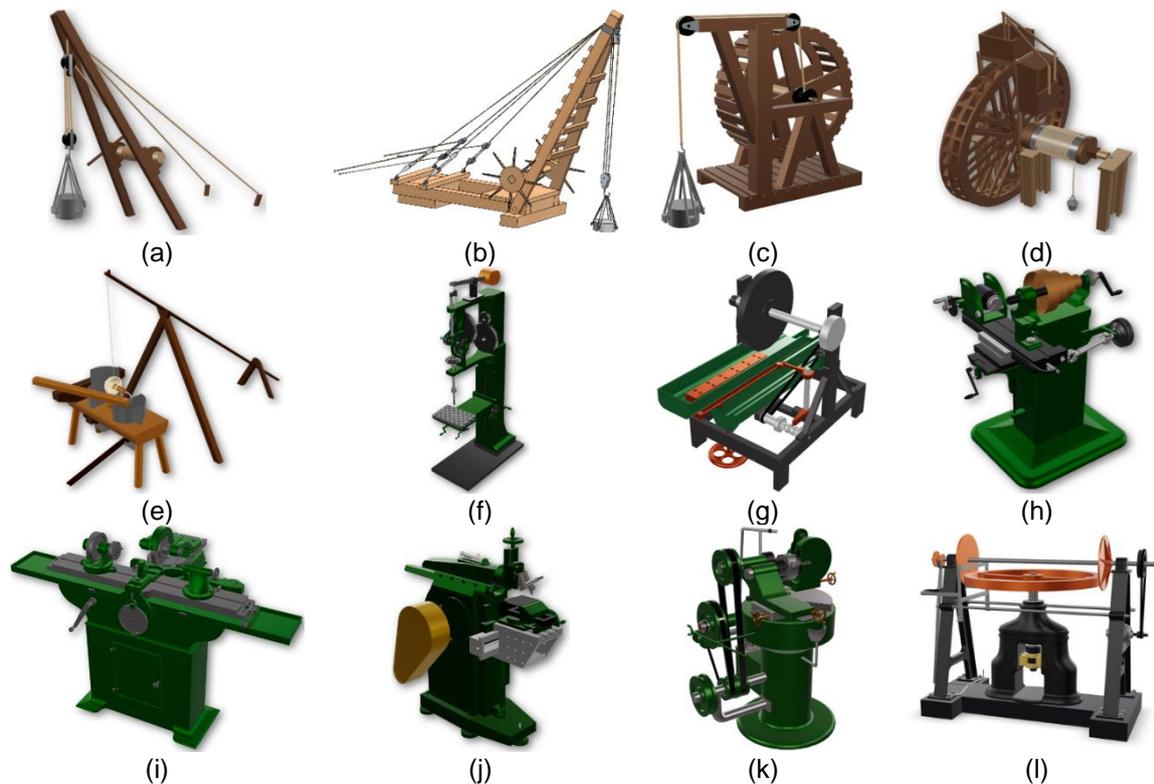
Hasta la fecha, se han desarrollado un total de 11 TFEs, cuyos títulos se recogen en la Tabla 1. La Figura 8 muestra los modelos digitales obtenidos a partir de estos trabajos, que han sido incluidos en las secciones del museo de realidad aumentada y realidad virtual. El museo tiene un carácter abierto y dinámico, por lo que se irán incluyendo otros tipos de máquinas o elementos relevantes en el ámbito del Patrimonio Industrial.

Tabla 1: Trabajos Fin de Estudios orientados a la generación de contenidos del museo virtual

Titulo
Estudio y digitalización de sistemas de elevación de carga preindustriales como elementos del Patrimonio Industrial. (Figuras 8a, 8b, 8c y 8d)
*Aplicación de técnicas de realidad virtual en el ámbito del Patrimonio Industrial. (Figura 8e y 9)
Modelización de la taladradora de columna de Whitworth de 1847. (Figura 8f)
Modelización de la rectificadora de superficies planas "Darling" del siglo XIX. (Figura 8g)
Modelado de la fresadora universal de Frederick W. Howe como elemento del Patrimonio Industrial. (Figura 8h)
Modelización 3D de la rectificadora universal de Brown and Sharpe de 1877. (Figura 8i)
Aplicación de técnicas de fotogrametría para el modelado de una limadora como elemento de Patrimonio Industrial. (Figura 8j)
Modelización y análisis funcional de una rectificadora de rodamientos de 1906. (Figura 8k)
Modelado de una prensa de husillo a fricción ubicada en el museo de las Reales Fabricas de Riópar (Albacete). (Figura 8l)
Metodología para el desarrollo de un museo virtual de máquinas-herramienta de relevancia histórica
Metodología para el desarrollo de una exposición en realidad aumentada para el museo virtual de la EII de la UMA

* Premio de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación al mejor Trabajo Fin de Estudios (año 2022)

Figura 8: Modelos digitales incluidos en el museo virtual: a) grúa egipcia; b) tripasto griego; c) grúa romana-medieval; d) grúa renacentista; e) torno de pedal y pértiga; f) taladradora de columna; g) rectificadora de superficies planas; h) fresadora universal; i) rectificadora universal; j) limadora; k) rectificadora de rodamientos; l) prensa de husillo a fricción



Estos modelos han sido incluidos en la exposición en realidad aumentada del museo virtual. Para ello, se han generado un conjunto de pósters donde se recoge información relevante sobre el valor histórico del bien y su funcionamiento (Figura 8a). Los pósters incluyen un

código QR que permite el acceso del usuario al modelo digital y su visualización en realidad aumentada (Figura 8b). A su vez, se ha creado un póster con las instrucciones de acceso al catálogo web de todos los bienes digitalizados, a través de un código QR. También se proporciona la posibilidad al usuario de realizar una encuesta, a través de otro código QR, donde pueda valorar la experiencia en la sala de realidad aumentada del museo (Figura 8c). Esta exposición será accesible a través de la web de la EII de la UMA (museo virtual), permitiendo el acceso universal a cualquier usuario. También formará parte del museo físico, a través de una sala específica de realidad aumentada en la que se ubicarán los posters impresos.

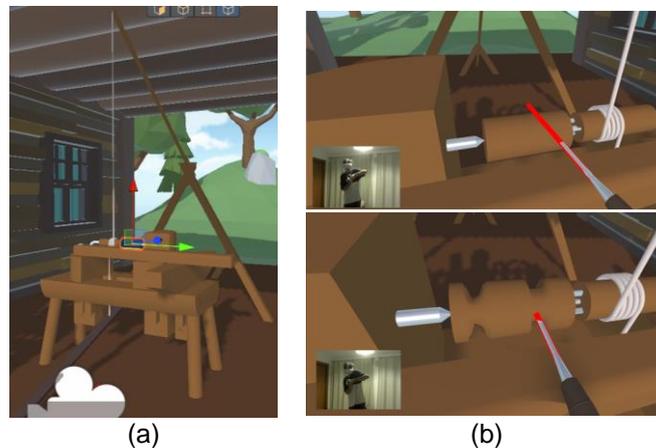
Figura 8: Exposición en realidad aumentada: a) Ejemplo de Póster; b) Modelo en realidad aumentada; c) Instrucciones de acceso



3.2 Exposición en Realidad Virtual

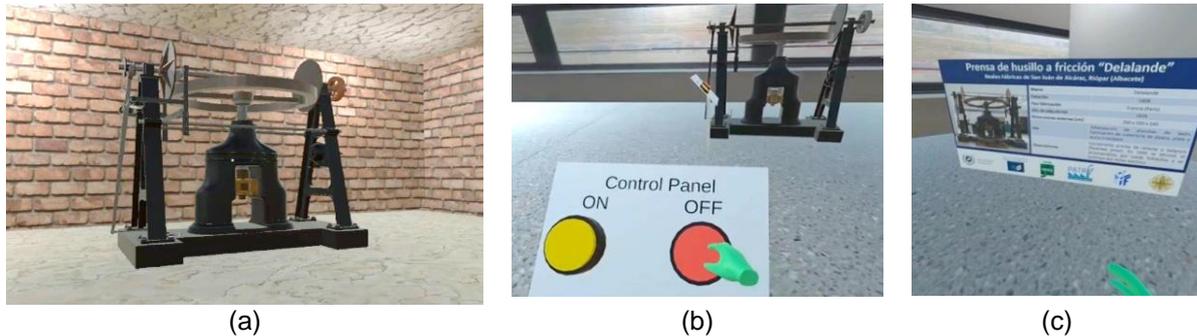
Además de la exposición en realidad aumentada, se ha generado un espacio expositivo virtual, donde el usuario pueda tener una experiencia inmersiva e interactuar con los modelos desarrollados, mediante la utilización de gafas de realidad virtual. Se han diseñado dos tipos de entornos virtuales. El primero de ellos permite interactuar en una escena ambientada en el contexto histórico en el que el bien fue utilizado (Figura 9a). Este tipo de entorno permite visualizar los principales movimientos de la máquina y su funcionamiento, así como utilizarla como lo haría un operario en su momento histórico (Figura 9b).

Figura 9: Torno de pedal y pértiga en realidad virtual: a) Torno en su entorno de trabajo; b) Interacción entre el usuario y el torno para la fabricación de una pieza



El segundo tipo de entorno consiste en una sala expositiva, similar a la que se podría encontrar en un museo, donde se pueden encontrar las máquinas (u otros elementos) clasificados por épocas y tipologías (Figura 10a). El usuario también puede interactuar con la máquina, a través de un conjunto de accionamientos que muestran su funcionamiento (Figura 10b), así como obtener información relevante relativa a las características del bien y su valor patrimonial (Figura 10c).

Figura 10: Sala expositiva en realidad virtual: a) Modelo digital; b) Accionamientos de interacción con el modelo; c) Información relevante del modelo



Tras la realización de estas actividades, ligadas tanto a Trabajos Fin de Estudios como a actividades realizadas en grupo en la asignatura de Ingeniería de Fabricación, se llevó a cabo una nueva encuesta a los alumnos en la que se les preguntó acerca de su grado de conocimiento del concepto de Patrimonio Industrial tras la actividad realizada (0. No conoce el concepto – 5. Lo conoce perfectamente). El 100% de los alumnos encuestados (de un total de 40), respondieron con un valor de 5 a la cuestión planteada. Por tanto, las actividades realizadas se han mostrado como una herramienta útil para paliar las carencias detectadas en torno al conocimiento del alumnado sobre el concepto de Patrimonio Industrial.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha expuesto la metodología seguida para la creación del Museo Virtual de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga, como medio para visibilizar, sensibilizar y poner en valor el concepto de Patrimonio Industrial entre su alumnado. Las principales conclusiones que se derivan del trabajo realizado son las siguientes:

- El estudio del concepto de Patrimonio Industrial es de especial relevancia en el contexto de la formación en ingeniería industrial, alineando la educación con los desafíos contemporáneos y futuros de la industria.
- La encuesta realizada al alumnado de diversos Grados en Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga ha puesto de manifiesto un conocimiento inicial muy limitado sobre el concepto de Patrimonio Industrial. El 59.4% de los encuestados manifestaron un desconocimiento total sobre el tema. Sin embargo, el interés expresado por los estudiantes hacia la creación de un museo dedicado al Patrimonio Industrial indica una significativa predisposición hacia el aprendizaje y la valoración de este concepto.
- La implementación de exposiciones de máquinas-herramienta y otros elementos de relevancia histórico-patrimonial en realidad aumentada y virtual ha tenido un impacto positivo en el conocimiento y apreciación del Patrimonio Industrial por parte del estudiantado. La capacidad de estas tecnologías para proporcionar experiencias inmersivas e interactivas ha demostrado ser un complemento valioso a los métodos de enseñanza tradicionales.
- Aunque el número de bienes digitalizados es actualmente reducido, se trata de un museo totalmente abierto y en continuo crecimiento. Se pretende que todo el alumnado y el

profesorado participe en su desarrollo, abriendo la puerta a la incorporación de otras iniciativas y al uso de otras tecnologías no abordadas en el presente trabajo.

- A través de la digitalización de elementos del Patrimonio Industrial, este museo contribuye a la preservación de la memoria tecnológica y cultural de la sociedad industrial, facilitando el acceso universal a este patrimonio.

Estas conclusiones subrayan la importancia de integrar de manera sistemática el estudio del Patrimonio Industrial en los programas académicos de los distintos Grados en Ingeniería Industrial, con el fin último de poner en valor este concepto, además de formar ingenieros más conscientes, críticos y capacitados para contribuir al desarrollo tecnológico y social.

Referencias

Baviera Llópez, E., Llopis Verdú, J., Martínez Piqueras, J., & Denia Ríos, J. L. (2018). Heritage Dissemination Through the Virtual and Augmented Realities. *Graphic Imprints*, 623–632. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93749-6_50

Duet, J. (2013). *Industrial Heritage Re-tooled* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315426532>

Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>

Hadgraft, R. G., & Kolmos, A. (2020). Emerging learning environments in engineering education. *Australasian Journal of Engineering Education*, 25(1), 3–16. <https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1713522>

Hain, V., & Hajtmanek, R. (2021). Industrial Heritage Education and User Tracking in Virtual Reality. *Virtual Reality and Its Application in Education*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.90679>

Instituto del Patrimonio Histórico de España (IPCE). (2023). Plan Nacional de Patrimonio Industrial (PNPI) (Ministerio de Cultura y Deporte, Ed.). <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/planes-nacionales/patrimonio-industrial.html>

López Chávez, O., Rodríguez, L. F., & Gutierrez-Garcia, J. O. (2020). A comparative case study of 2D, 3D and immersive-virtual-reality applications for healthcare education. *International Journal of Medical Informatics*, 141. <https://doi.org/10.1016/J.IJMEDINF.2020.104226>

Musson, A. E., & Robinson, E. (1969). *Science and technology in the Industrial Revolution*. Manchester U.P.

Novotný, M., Lacko, J., & Samuelčík, M. (2013). Applications of Multi-touch Augmented Reality System in Education and Presentation of Virtual Heritage. *Procedia Computer Science*, 25, 231–235. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2013.11.028>

Ortiz-Zamora, F. J., Ladrón-De-Guevara-Muñoz, M. C., Miravet-Garret, L., Pérez-García, J., Martín-Domínguez, R., Salgado-Fernández, J., & Lora-Núñez, Á. (2023). Augmented reality applied to the restoration of historical heritage. *Dyna (Spain)*, 98(1), 86–90. <https://doi.org/10.6036/10651>

PATRIF. (2024). 10 imágenes sobre... <https://sif-mes.org/patrif/patrif-10-imagenes-sobre-informacion-general/>

Rivera, F. M. La, Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echeverría, D. (2020). The Sustainable Development Goals (SDGs) as a Basis for Innovation Skills for Engineers in the Industry 4.0 Context. *Sustainability*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/SU12166622>

Sánchez-Casado, M. de las N., Miguel, V., Manjabacas, M. C., & García-Martínez, E. (2023). Description of teaching experiences in the context of industrial heritage in curricula that do not include the discipline: possibilities for adapting the educational environment. *INTED2023 Proceedings*, 1, 5953–5961. <https://doi.org/10.21125/INTED.2023.1566>

Sebastián, M. Á., Sevilla, L., Trujillo, F. J., Claver, J., Vera, M., & Galán, A. (2023). Un centenar de máquinas-herramienta en busca de un icono: el caso del museo de las fábricas de Riópar. *IV Congreso Internacional de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública (FUPIA)*.

The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage (TICCIH). (2003). *The Nizhny Tagil Charter For The Industrial Heritage*. <https://ticcih.org/about/charter/>

Trujillo, F. J., Herrera, M., Bermudo, C., & Sevilla, L. (2023). Virtual Modeling of the Brown and Sharpe's Universal Grinding Machine from 1877. *Advances in Science and Technology*, 132, 475–484. <https://doi.org/10.4028/P-KEXM3G>

UNED. (2024). “Vidas académicas en ingeniería industrial.” <https://canal.uned.es/series/5a6f98c9b1111f743a8b4569>

Wen, X., Sotiriadis, M., & Shen, S. (2023). Determining the Key Drivers for the Acceptance and Usage of AR and VR in Cultural Heritage Monuments. *Sustainability*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/SU15054146>

Zhong, H., Wang, L., & Zhang, H. (2021). The application of virtual reality technology in the digital preservation of cultural heritage. *Computer Science and Information Systems*, 18(2), 535–551. <https://doi.org/10.2298/CSIS200208009Z>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

