

PREMIOS 2022

A LA INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA



PREMIO

Herramienta constructorista de adquisición de competencias en la representación normalizada de conjuntos mecánicos de Ingeniería, basada en realidad aumentada para dispositivos móviles

Fernando J. Fraile Fernández
Dpto. de Tecnología Minera, Topográfica y de Estructuras

ACCÉSIT

Demostradores para la formación en digitalización de la industria

Manuel Domínguez González
Dpto. Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática

MENCIÓN HONORÍFICA

“Letras de esperanza”. Aprendizaje-Servicio para superar la ruptura intergeneracional y acompañar la soledad

Jorge de Juan Fernández
Dpto. de Psicología, Sociología y Filosofía

Premios 2022 a la Innovación en la Enseñanza

© UNIVERSIDAD DE LEÓN. Consejo Social

© Fotografías entrega de premios, Gabinete de Prensa de la ULE, 2022

© Resto de imágenes, sus autores

Diseño y maquetación: Ana R. Jular-LEÓN

Depósito Legal: LE 206-2022

Edición no venal

PRINTED IN SPAIN. IMPRESO EN ESPAÑA

PREMIOS 2022

A LA INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA



Consejo Social
Universidad de León



La Directora General de Universidades de la Junta de Castilla y León,
el Rector Magnífico y el Presidente del Consejo Social
de la Universidad de León.

**ACTA DE RESOLUCIÓN DEL JURADO DEL PREMIO CONSEJO SOCIAL A LA
INNOVACIÓN EN LA ENSEÑANZA 2022,
CONVOCADO POR EL CONSEJO SOCIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LEÓN**

Reunido el Jurado de la 21ª edición de los **Premios a la Innovación en la Enseñanza 2022**, compuesto por el Dr. D. José Antonio Caride Gómez de la Universidad de Santiago de Compostela, el Dr. D. Francisco Javier Lloréns Montes de la Universidad de Granada, y el Dr. D. Emilio Fernández Suárez de la Universidad de Vigo

Poniendo en valor y reconociendo el mérito del Consejo Social de la Universidad de León en la promoción y dinamización de esta iniciativa en su 21ª convocatoria, así como de las ocho (8) propuestas que concurrieron a la misma a favor de la innovación en las enseñanzas universitarias, la construcción de aprendizajes multi e interdisciplinares, la mejora de la calidad de la Educación Superior y sus vínculos con la sociedad,

Tras realizar la evaluación de las Memorias de solicitud presentadas, de la documentación anexa y del conjunto de evidencias acreditadas en cada una de ellas, ha tomado la decisión, por unanimidad, de proponer para la obtención del **PREMIO**:

Título:

"Herramienta constructora de adquisición de competencias en la representación normalizada de conjuntos mecánicos de Ingeniería, basada en realidad aumentada para dispositivos móviles".

Responsable:

Fernando J. Fraile Fernández

Asimismo, el jurado, por unanimidad, ha decidido proponer para la obtención del **ACCÉSIT**:

Título:

"Demostradores para la formación en digitalización de la industria".

Responsable:

Manuel Domínguez González

Finalmente, el jurado, también por unanimidad, ha decidido proponer para obtener la **MENCIÓN HONORÍFICA**:

Título:

"Letras de esperanza. Aprendizaje-Servicio para superar la ruptura intergeneracional y acompañar la soledad".

Responsable:

Jorge de Juan Fernández

A 7 de marzo de 2022.

Firmado por LLORENS MONTES
FRANCISCO JAVIER - 24241242R
el día 07/03/2022 con un
certificado emitido por AC
FNMT Usuarios

CARIDE GOMEZ
JOSE ANTONIO
- 34907865Y
Firmado digitalmente
por CARIDE GOMEZ JOSE
ANTONIO - 34907865Y
Fecha: 2022.03.07
10:31:18 +01'00'

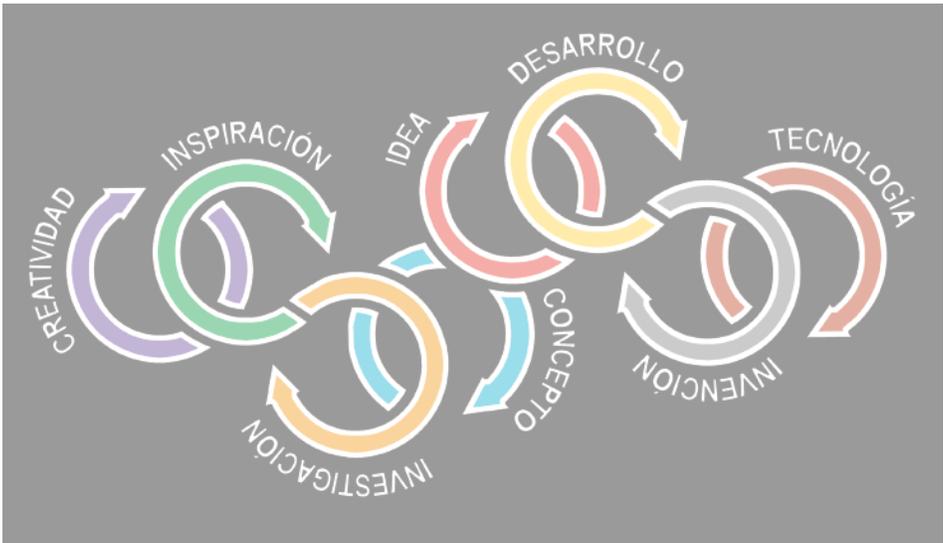
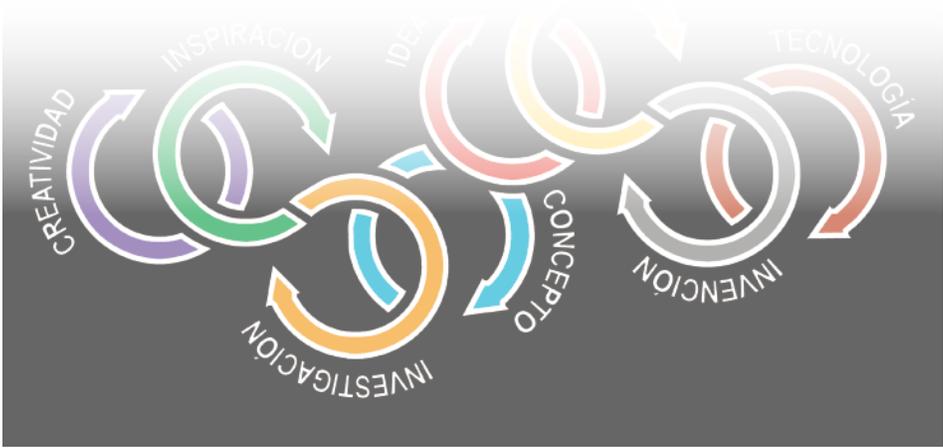
Firmado por FERNANDEZ
SUAREZ EMILIO MANUEL -
13736960A el día 07/03/2022 con
un certificado emitido por AC

Fdo.: Francisco Javier Lloréns Montes

Fdo.: José Antonio Caride Gómez

Fdo.: Emilio Fernández Suárez

—
EXCMO. PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LEÓN.



PREMIO

Herramienta constructora de adquisición de competencias
en la representación normalizada
de conjuntos mecánicos de Ingeniería,
basada en realidad aumentada para dispositivos móviles

Fernando J. Fraile Fernández

Departamento de Tecnología Minera, Topografía y de Estructuras

ACCÉSIT

Demostradores para la formación en digitalización de la industria

Manuel Domínguez González

Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática

MENCIÓN HONORÍFICA

“Letras de esperanza”.

Aprendizaje-Servicio para superar
la ruptura intergeneracional y acompañar la soledad

Jorge de Juan Fernández

Departamento de Psicología, Sociología y Filosofía



Recoge el Premio el Profesor Fernando J. Fraile Fernández

PREMIO

*Herramienta constructora de adquisición de competencias
en la representación normalizada
de conjuntos mecánicos de Ingeniería,
basada en realidad aumentada para dispositivos móviles**

Coordinador:

Fernando J. Fraile Fernández

Departamento de Tecnología Minera, Topografía y de Estructuras
fjfrac@unileon.es

Participantes:

Rebeca Martínez García

Departamento de Tecnología Minera, Topografía y de Estructuras
rmartg@unileon.es

Manuel Castejón Limas

Departamento. de Ingeniería Mecánica, Informática y Aeroespacial
manuel.castejon@unileon.es

*Texto basado en el artículo: Fraile-Fernández FJ, Martínez-García R, Castejón-Limas M. Constructionist Learning Tool for Acquiring Skills in Understanding Standardised Engineering Drawings of Mechanical Assemblies in Mobile Devices. Sustainability. 2021; 13(6):3305. <https://doi.org/10.3390/su13063305>

Resumen: La asignatura de Expresión Gráfica tiene la responsabilidad de transferir la información del diseño a la realidad, está orientada al análisis, diseño y representación de elementos y piezas mecánicas. Esta disciplina requiere el dominio y manejo de técnicas y sistemas de representación gráfica y normalización, para la correcta definición de elementos. La realidad aumentada (AR) es una tecnología innovadora que facilita la visualización de datos y modelos 3D, por lo que resulta una herramienta idónea para el desarrollo de las competencias gráficas y las capacidades espaciales de los estudiantes de ingeniería. El objetivo de la presente investigación es el desarrollo de una aplicación para dispositivos inteligentes (teléfonos y tablets), basada en la teoría construccionista del aprendizaje, que, utilizando la realidad aumentada y el modelado como herramientas didácticas, facilite la adquisición de conocimientos y competencias a los estudiantes de 1^{er} curso de ingeniería, relativos al dibujo técnico de conjuntos mecánicos. Se diseña, programa y testea una aplicación móvil, llamada ARPAID, basada en AR, para el aprendizaje de mecanismos y ensamblajes de la asignatura de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Se diseñan materiales docentes y su evaluación. Se presenta la descripción detallada de la actividad en el aula y se realiza una tabulación y análisis de los resultados obtenidos. La aplicación móvil de AR, utilizada en la asignatura de Expresión Gráfica, permite una comprensión más rápida de relaciones y problemas espaciales, fomenta el aprendizaje y motivación de los alumnos y el desarrollo de capacidades de orden superior. Se presentan los resultados antes y después del uso de la aplicación, mostrando que ha habido una mejora significativa.

Palabras Clave: construccionismo; realidad aumentada; expresión gráfica; representación de conjuntos mecánicos; unity3d; aplicación móvil;

1. Introducción

Durante los últimos años se han ido implantado nuevos Planes de Estudio en las Escuelas de Ingeniería. En estos planes se han ido implantando, poco a poco, nuevas tecnologías, reflejo de la adaptación del sistema educativo universitario al mundo industrial 4.0. El mundo ha ido cambiando y los contenidos de las asignaturas de las enseñanzas técnicas han tenido la necesidad de adaptarse a los nuevos tiempos.

El mundo actual se ha desarrollado hasta convertirse en una red instantánea, donde se puede tomar y dar información en el acto. La sociedad del siglo XXI es interactiva, la informática es portátil y la conectividad casi total [1]. Una de las principales estrategias de los académicos de Horizon 2020 [2] para la educación en la Unión Europea es la incorporación de la Realidad Aumentada (AR) en la Educación Superior.

La asignatura de Expresión Gráfica es una asignatura transversal y de carácter tecnológico, comprende las técnicas de comunicación gráfica para expresar ideas y conceptos. Puede ser definida como una tecnología que coordina habilidades intelectuales con habilidades instrumentales [3]. Es un área de conocimiento que está orientada al análisis, diseño y representación de elementos y piezas mecánicas, mecanismos y ensamblajes, elementos constructivos, instalaciones, terrenos... Esta disciplina requiere el dominio y manejo de técnicas y sistemas de representación gráfica y normalización, para la correcta definición de elementos.

La AR es una tecnología emergente con un gran recorrido en muchas disciplinas, entre ellas la educación. La AR es una realidad mixta que combina información virtual e información física en tiempo real, es decir, por medio de dispositivos se añade información virtual a la información física procedente de un objeto o entorno real, creando una realidad artificial [4]. Alan B. Craig (2013), en "Understanding Augmented Reality" [5], define la Realidad Aumentada como "un medio en el que la información se añade al mundo físico, integrándose con él". Ronald T. Azuma (1997), en su artículo "A Survey of Augmented Reality" [6] expone tres características definitorias de la AR: combinación de lo real y lo virtual, interacción en tiempo real e Integración 3D. Podemos considerar la AR como la superposición, sobre nuestra visión del mundo real (a través de nuestros ojos u obtenida a través de una cámara) de algún tipo de información generada por ordenador y con la que podemos interactuar. Es esta acepción la que vamos a tomar como base para nuestra propuesta.

Cada vez son más los estudios publicados centrados en experiencias docentes con el uso de AR. La mayoría de las aplicaciones se han implementado en niveles educativos obligatorios (ESO y Secundaria), y las menos en educación universitaria superior [4],[7],[8] especialmente en ramas de ciencias: Biología [12],[13],[14], Matemáticas [15], [16], Física [7], [17] Química [18], ciencias de la Tierra [19], [20] humanidades y artes [21],[22],[23], el campo menos explorado ha sido la formación de docentes. Todos estos estudios coinciden en que el uso

de AR en entornos educativos reporta una serie de beneficios educativos, entre los que destacan los siguientes: aumento de la motivación y el interés de los estudiantes por la asignatura, desarrollo de habilidades creativas, aprendizaje positivo, atención, compromiso, satisfacción, mejora en la comprensión del conocimiento, mayor rendimiento académico, aumento de memoria y autonomía. Las principales limitaciones descritas en los estudios son: acceso a la tecnología, problemas técnicos de la App, muestras pequeñas de alumnos, problemas de conexión, problemas de usabilidad de la App, sobrecarga cognitiva, poco desarrollo de capacidades de orden superior, limitaciones para el desarrollo de la App por parte de los educadores, escasa duración de las experiencias, más datos cualitativos.

Está demostrado, en numerosos estudios científicos, que el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes aumenta con el uso de aplicaciones tecnológicas y más en aquellas aplicaciones que permiten una mayor interacción del alumno con el entorno. Una de estas aplicaciones tecnológicas es la AR. Según Bower et al. [24] el uso de AR en la educación proporciona beneficios a través de la adquisición de conocimiento y contenidos que pueden ser abstractos, difíciles de entender y difíciles de observar. La AR es una tecnología innovadora que facilita la visualización de datos y modelos 3D, por lo que resulta una herramienta idónea para el desarrollo de las competencias gráficas y las capacidades espaciales de los estudiantes de ingeniería.

Si bien es cierto que a nivel nacional se ha realizado un gran esfuerzo por dotar de medios audio-visuales y equipos de nuevas tecnologías para facilitar la labor docente y el aprendizaje del alumnado, no lo es menos que el elevado precio de estos equipos, unido a la constante aparición de nuevos dispositivos, exigen una constante renovación y actualización que no siempre es posible.

El desarrollo de las clases en el aula obliga, en muchas ocasiones, a la utilización de proyección de materiales sobre una pantalla e, incluso, al uso de la pizarra tradicional y la tiza. Es el caso, por ejemplo, de nuestras asignaturas cuando tenemos que resolver preguntas en el aula, que precisan la elaboración de un dibujo de manera secuencial, en la que el propio proceso “paso a paso” es fundamental para la comprensión por parte del alumno. Con grupos con un número elevado de alumnos (65 en la titulación de Aeroespacial, 90 en la de Electrónica), la calidad de la percepción de estos gráficos va disminuyendo según aumenta la distancia a la pizarra, o varía el ángulo de visualización, siendo a veces la información transmitida al alumno totalmente ininteligible.

Por otro lado, en muchas escuelas Técnicas de nuestro país se acostumbra a incidir más en la adquisición de conocimientos teóricos profundos, relegando a un segundo plano la consecución de competencias en aplicaciones prácticas para el futuro ejercicio de la profesión. Esto suele generar en los estudiantes desmotivación en el aprendizaje de contenidos en las asignaturas. En las clases magistrales o teóricas observamos actitudes pasivas en el alumnado, falta de participación, falta de hábitos activos.

El problema se debe al modelo educativo (a veces excesivamente centrado en el docente) y al profesorado, que no suele aplicar metodologías activas para crear el hábito activo. Motivar al alumno y conseguir que sea consciente en todo momento del uso potencial y real de la materia trabajada en las aulas ha sido uno de los acicates fundamentales para iniciar esta investigación en innovación docente.

La pregunta que nos planteamos es la siguiente: ¿puede existir alguna manera realista de solventar las dificultades de aprendizaje en el desarrollo de las clases presenciales, de una manera eficiente, barata y accesible a todos nuestros alumnos que, además, proporcione posibilidad de mejora en comprensión, habilidades espaciales, capacidad de atención, evaluación y tutorización? Nuestra respuesta es afirmativa. Creemos que el uso de aplicaciones móviles basadas en Realidad Aumentada (AR) en el aula, dentro de un paradigma constructorista de aprendizaje, puede proporcionarnos los medios para alcanzar o, quizá sería mejor decir, “catalizar” la consecución, en menor o mayor grado, de los objetivos planteados en nuestra pregunta.

Para intentar revertir estas situaciones debemos modificar el modelo educativo empleado y aplicar un método activo, constructorista, para conseguir que el alumnado, interactuando y manipulando los modelos proporcionados, construyan su propio conocimiento de una manera más profunda y duradera y adquieran el hábito activo en el aula.

Se puede considerar que la práctica totalidad de los alumnos de nuestra escuela utilizan habitualmente teléfono móvil o tablet, que son dispositivos que pueden mostrar en pantalla la realidad captada por su cámara de alta resolución. Si a través del desarrollo de una aplicación conseguimos superimprimir a esa imagen otras informaciones relevantes al desarrollo de la actividad de aprendizaje en el aula, de forma sincronizada, mediante ciertos eventos desencadenantes o “triggers” y, mediante la que los alumnos puedan interactuar, responder a solicitudes de información o plantear cuestiones, su influencia en el aprendizaje y la adquisición de habilidades será notable.

A través de esta propuesta educativa se pretende brindar a los estudiantes experiencias innovadoras y, al mismo tiempo, afianzar sus conocimientos en la asignatura de Expresión Gráfica y mejorar sus habilidades espaciales; adaptar el aprendizaje y la adquisición de competencias al uso estratégico de las TICs, en especial la Realidad Aumentada y las Aplicaciones para Dispositivos Móviles. El uso de las citadas tecnologías como recursos didácticos es un método que nos va a permitir, a los investigadores y docentes que planteamos esta propuesta, un proceso permanente de reflexión tecnológica. Nuestro método parte de enfrentar a los alumnos a situaciones reales que, mediante la AR, les facilite la comprensión y sean capaces de aplicar lo que aprenden como una herramienta para resolver problemas, generar ideas y proponer mejoras en la comunidad ingenieril. Se pretende mejorar los resultados académicos, motivar y provocar la participación del alumnado con el uso combinado de un dispositivo familiar, de uso diario, como

es el teléfono móvil o la Tablet y una tecnología de vanguardia, muy atractiva y vinculada a los videojuegos, como es la Realidad Aumentada. A través de su uso, el estudiante será capaz de crear, compartir y utilizar contenidos durante todo el proceso de aprendizaje en el aula, al tiempo que se facilita la disponibilidad de recursos en los momentos críticos del aprendizaje. Se persigue generar Inteligencia Colectiva a través de la interacción profesores-alumnos en el uso de la App y evaluar, tras la realización de la experiencia, los resultados obtenidos, valorando cualitativamente y, en lo posible, cuantitativamente, la probabilidad de mejora en el aprendizaje en los grupos experimentales (que usa AR), frente al grupo de control (que no la usa).

2. Diseño de la Investigación. Métodos y herramientas

2.1 Paradigmas educativos de aprendizaje

Un paradigma es un modo particular de ver el mundo, de interpretar la realidad, a partir de una determinada concepción filosófica. Según el autor Martín-Trujillo L., un paradigma es un determinado marco desde el cual miramos el mundo, lo comprendemos, lo interpretamos e intervenimos sobre él [25].

Las principales teorías que hemos tenido en cuenta como base teórica aplicadas al diseño de nuestra aplicación son las siguientes:

El *constructivismo* está integrado por un conjunto de teorías psicológicas y pedagógicas basadas en que el objetivo principal del proceso educativo es el Desarrollo Humano, sobre el cual deben incidir los contenidos educativos. El aprendizaje se forma en el interior del individuo y de las relaciones e intercambios que este tiene con su entorno [26][25]. Se basa en un modelo de aprendizaje activo y constructivo. Los estudiantes construyen su propia comprensión de la realidad vinculada al conocimiento previo de cada uno. El constructivismo se organiza en torno a tres conceptos básicos: el alumno es el responsable activo de su propio proceso de aprendizaje, el conocimiento es el resultado de un proceso de construcción a nivel social y la función del docente es encaminar los procesos de construcción del alumno debe orientar y guiar. Esta teoría sostiene que el aprendizaje instructivo ha de proporcionar apoyo macro y micro para construir sus propios conocimientos e involucrarlos en un aprendizaje significativo [27].

Como fundamento del constructivismo, *Piaget* propone la teoría del *desarrollo cognoscitivo*. El desarrollo cognitivo es el conjunto de transformaciones que se dan en el transcurso de la vida por el cual aumentan los conocimientos y las habilidades para percibir, pensar y comprender. Estas habilidades son utilizadas para la resolución de problemas prácticos en la vida. *Piaget* estudió como el niño interpreta el mundo a distintas edades y como adquiere el conocimiento al ir desarrollándose [25]. Tiene su propia lógica y formas de conocer, las cuales siguen patrones predecibles del desarrollo conforme va alcanzando la madurez e interactúa con el entorno. Los niños construyen activamente el conocimiento

del ambiente usando lo que ya saben e interpretando nuevos hechos y objetos. Piaget dividió el desarrollo cognoscitivo en cuatro etapas: etapa sensoriomotora, etapa preoperacional, etapa de las operaciones concretas y etapa de las operaciones formales. En cada etapa se supone que el pensamiento del niño es cualitativamente distinto al de las restantes. Según Piaget, el desarrollo cognoscitivo no sólo consiste en cambios cualitativos de los hechos y de las habilidades, sino en transformaciones radicales de cómo se organiza el conocimiento. Piaget propuso que el desarrollo cognoscitivo sigue una secuencia invariable y todos los niños pasan por las cuatro etapas en el mismo orden, no siendo posible omitir ninguna de ellas. Las etapas se relacionan generalmente con ciertos niveles de edad, pero el tiempo que dura una etapa muestra gran variación individual y cultural. La teoría señala que la adquisición del conocimiento y el desarrollo del pensamiento se realizan a través del principio de adaptación del pensamiento a la realidad, lo que implica unos procesos básicos: la asimilación y la acomodación. La asimilación consiste en acomodar los elementos exteriores del sujeto a las estructuras de conocimiento que ya posee. La acomodación es el proceso que completa la asimilación, puesto que una vez las experiencias se han incorporado a las estructuras cognitivas del sujeto, se requiere un reajuste o reacomodo para integrar los conocimientos nuevos con los ya existentes.

Vygotsky propone la *teoría sociocultural*, que es una teoría constructivista que otorga mayor relevancia al entorno social como facilitador del desarrollo y del aprendizaje. En contraste con Piaget, Vygotsky no habla de asimilación, sino de apropiación [28]. En su teoría destaca tres factores fundamentales y la importancia de la interacción entre ellos: factores interpersonales, factores histórico-culturales y factores individuales. Afirmó que no es posible entender el desarrollo del niño si no se conoce la cultura donde se cría. Pensaba que los patrones de pensamiento del individuo no se deben a factores innatos, sino que son producto de las instituciones culturales y de las actividades sociales. El niño nace con habilidades mentales elementales, entre ellas la percepción, la atención y la memoria y gracias a la interacción con compañeros y adultos más conocedores, estas habilidades innatas se transforman en funciones mentales superiores. Vygotsky considera cinco conceptos que son fundamentales: las funciones mentales, las habilidades psicológicas, la zona de desarrollo próximo, las herramientas del pensamiento y la mediación.

El *aprendizaje significativo* desarrollado por *David Ausubel*, es un tipo de aprendizaje en el que un estudiante asocia los nuevos contenidos con los conocimientos previos que ya posee, reajustando y reconstruyendo ambas informaciones en este proceso. El aprendizaje significativo es el mecanismo que permite la adquisición como el almacenamiento de grandes cantidades de ideas e información representadas por cualquier campo del conocimiento [25].

Aprendizaje por descubrimiento de Bruner propugna que lo que va a ser aprendido no se da en su forma final, sino que debe ser reconstruido por el estudiante antes de ser incorporado en la estructura cognitiva. El descubrimiento

favorece el desarrollo mental, y que no hay nada más personal que lo que se descubre por uno mismo. Pretende que el estudiante obtenga conocimientos por sí mismo, guiado por el profesor, pero que las experiencias sean a partir de los descubrimientos que él realice. El descubrimiento es un tipo de razonamiento inductivo, ya que los alumnos pasan de estudiar ejemplos específicos a formular reglas, conceptos y principios generales. Se conoce también como aprendizaje basado en problemas, aprendizaje de indagación o aprendizaje de experiencia[25].

El *construccionismo de Seymour Papert* coincide con el constructivismo en la concepción del aprendizaje como “creación de estructuras de conocimiento”, independientemente de las circunstancias del aprendizaje. Sin embargo, el construccionismo trasciende este concepto y establece las circunstancias en las que el aprendizaje será más significativo, considerando el contexto en el que se produce: aprender haciendo. El aprendizaje se facilita enormemente cuando el aprendiz se encuentra conscientemente comprometido en la construcción de un objeto o entidad pública significativa que puede ser de variada naturaleza, desde un castillo de arena, una poesía o un programa de ordenador [29].

En su obra *La máquina de los niños*, Papert habla de la especial importancia que desempeñan estas construcciones en el mundo como catalizadoras de las que se producen en la cabeza. Por tanto, considera dos clases de construcción, una externa y otra interna al individuo. Además, se produce un ciclo de aprendizaje que se realimenta de forma sucesiva: mientras se construye un entidad en el mundo se construye conocimiento en la mente y este conocimiento posibilita la construcción de entidades más complejas en el mundo externo, las cuales generarán más conocimiento, y así sucesivamente [30].

Según Papert, el mejor aprendizaje no derivará de encontrar mejores formas de instrucción, sino de ofrecer al aprendiz mejores oportunidades para construir. Considerando la importancia de proporcionar al estudiante materiales adecuados, es fundamental, igualmente, el entorno o ambiente en el que se produce el aprendizaje, además del contexto social. Un buen entorno para el aprendizaje precisa de tres características esenciales: elección, diversidad y afinidad.

Para que una tecnología sea efectiva, debe proporcionar a los principiantes formas fáciles de empezar (lo que Papert denominó como suelos bajos) pero, a la vez, con el paso del tiempo, ofrecerles la manera de trabajar en proyectos cada vez más sofisticados (techos altos) [31].

Al usar una herramienta construccionista, el aprendiz tendrá oportunidad de experimentar, explorar y expresarse con libertad, sin tener un guion preestablecido, un itinerario marcado o un calendario al que atenerse. Al proporcionar al estudiante otras formas de interactuar activamente a través de una pantalla, incrementando las posibilidades de expresar sus ideas y de crear sus proyectos, estaremos contribuyendo a formar a los que Mitchel Resnick, el creador del lenguaje de programación gráfico Scratch y discípulo de Papert, ha denominado Pensadores Creativos o Estudiantes X [31].

2.2 Definición del Problema y Objetivos

A lo largo de los años impartiendo la asignatura de Expresión Gráfica, los profesores hemos observado que muchos alumnos tienen serias dificultades para entender la parte de Conjuntos y Ensamblajes en lo relativo a la comprensión de su funcionamiento, la posición de las piezas y el desplazamiento relativo entre las mismas. Estos aspectos son fundamentales para la correcta representación normalizada de los conjuntos mecánicos. Errores de comprensión del mecanismo conducen, inexorablemente, a errores en su representación gráfica.

El uso de aplicaciones móviles ha sido estudiado por muchos autores y está demostrado que ha dado buenos resultados en escenarios similares. Las características de esta tecnología pueden favorecer y enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, pero como cualquier otra tecnología es necesario conocer con precisión las pautas que hay que seguir para su adecuada inserción en el aula. Existen numerosas investigaciones y estudios que avalan su uso didáctico y analizan los factores que influyen en su uso y aceptación [32], [33], [34] making students engaged to m-learning is only possible when we had identified their learning styles. Current paper presents the development of mobile application for Polytechnic Mechanical Engineering Students (PolyMES, [35], [36]. Pero es necesario realizar más investigaciones al respecto que avalen el uso de aplicaciones tecnológicas que favorezcan y faciliten la adquisición de competencias en el marco de la educación superior.

La investigación que se propone persigue alcanzar los siguientes objetivos:

Brindar a los estudiantes experiencias innovadoras en el aula a través del uso de una App, basada en Realidad Aumentada y, al mismo tiempo, afianzar sus conocimientos en la asignatura de Expresión Gráfica y mejorar sus habilidades espaciales, desde una perspectiva constructora del aprendizaje.

Adaptar el aprendizaje y la adquisición de competencias al uso estratégico de las TICs, en especial la Realidad Aumentada y las Aplicaciones para Dispositivos Móviles. El uso de las citadas tecnologías como recursos didácticos es un método que nos va a permitir, a los investigadores y docentes que planteamos esta propuesta, un proceso permanente de reflexión tecnológica; nuestro método parte de enfrentar a los alumnos a situaciones reales que, mediante la AR, les facilite la comprensión y que sean capaces de aplicar lo que aprenden como una herramienta para resolver problemas, generar ideas y proponer mejoras en la comunidad ingenieril.

Mejorar los resultados académicos, tanto en exámenes tradicionales como en trabajos individuales y/o grupales.

Motivar y provocar la participación del alumnado con el uso combinado de un dispositivo familiar, de uso diario, como es el teléfono móvil o la Tablet y una tecnología de vanguardia, muy atractiva y vinculada a los videojuegos, como es la Realidad Aumentada, por medio de la que el estudiante sea capaz de construir

su propio conocimiento a través del uso de contenidos durante todo el proceso de aprendizaje en el aula.

Facilitar el aumento y la disponibilidad de recursos a los alumnos en los momentos críticos en los que se produce el aprendizaje.

Evaluar, tras la realización de la experiencia, los resultados obtenidos, valorando cualitativamente y, en lo posible, cuantitativamente la probabilidad de mejora en el aprendizaje en el grupo experimental (que usa la App), frente al grupo de control (que no la usa).

Los objetivos están enfocados a facilitar el aprendizaje significativo del alumno. Los autores [37] muestran que la ingeniería no debe basarse únicamente en conceptos teóricos sino que la interacción con aplicaciones multimedia permite a los estudiantes adquirir conocimiento de forma más rápida. Es necesario que los estudiantes piensen, comprendan, toquen, interactúen y razonen los conceptos como nos enseñan las teorías cognitivas [38]. Por estas razones se diseña una aplicación que no solo proporciona conceptos teóricos, sino que también muestra los objetos reales de trabajo. La aplicación está diseñada para que los objetos puedan ser tocados, girados, desplazados... en fin, interiorizados y entendidos. Este proceso va a simplificar la comprensión espacial de los mecanismos para que puedan ser interpretados correctamente y realizar sus planos de despieces y conjunto. Otra ventaja es la portabilidad. Gracias a teléfonos y tabletas los alumnos pueden acceder a los contenidos sin necesidad de un ordenador. Al cumplir todos estos objetivos, esta herramienta puede ser de gran ayuda a los estudiantes para comprender conceptos y resolver problemas teóricos y espaciales. Estos objetivos se intentarán medir con las herramientas de evaluación propuestas.

2.3 Metodología de la investigación

Hipótesis:

La utilización de la aplicación móvil ARPAID, en el aula y durante el periodo de trabajo personal del estudiante, tiene una influencia favorable en el aprendizaje significativo de la materia correspondiente al dibujo de conjuntos mecánicos.

La App se proyecta como medio de adquisición de conocimiento y permite la interacción con dos de los mecanismos que los estudiantes tienen que resolver y dibujar como parte del trabajo práctico de la asignatura. Durante el proceso de diseño se consideró que, además de manipular los modelos, sería conveniente que la App dispusiera de mecanismos de autoevaluación y una serie de actividades y ejercicios enfocados a profundizar en el aprendizaje, incluso con algún aspecto de gamificación o Serious Games.

Un carácter fundamental de ARPAID radica en la combinación de uso síncrono, en las sesiones presenciales en el aula con el profesor, con un uso asíncrono durante el periodo de trabajo personal del alumno. En las sesiones síncronas se

hará un uso extensivo de las capacidades de Realidad Aumentada, al proporcionar a los estudiantes materiales y actividades diferentes según la evolución de la sesión de aprendizaje. La conexión con un servidor remoto donde se aloje una base de datos, facilitará, además, una individualización de las tareas solicitadas a los usuarios.

Además, también se valoró la conveniencia de iterar en un proceso de evaluación de la usabilidad y de las posibilidades de mejora en la interfaz de usuario y en las funcionalidades de la App. Esta evaluación se proyecta ser realizada en un doble proceso. Por un lado, mediante entrevistas y cuestionarios de satisfacción entre los usuarios y, por otro, mediante un proceso más metódico y estructurado, de análisis sigiloso de variables y parámetros de uso, registrados y tabulados en una base de datos para su posterior tratamiento y obtención de resultados.

Por último, y pensando en hipotéticas acciones *ad futurum*, se valoró la necesidad de apertura de la aplicación a trabajar con un número más elevado de ensamblajes y actividades prácticas para dotarla de un grado de flexibilidad notable y, todo ello, sin aumentar el tamaño de almacenamiento del fichero en la memoria del dispositivo móvil, ni reducir su rendimiento. Se proyecta el uso de los denominados “paquetes de recursos” (asset bundles) que consisten en materiales ubicados en un servidor remoto que pueden ser dinámicamente descargados en el dispositivo y utilizados dentro de la aplicación móvil.

Por todas estas razones, y dada la complejidad de la investigación proyectada, se ha considerado conveniente fraccionarla en tres fases secuenciales en el tiempo. En el momento de escribir el presente artículo, se ha llevado a cabo la primera etapa, encontrándose en estos momentos en periodo de preparación la segunda.

Fase I: Implementación de la App ARPAID

En la primera fase, el trabajo se centrará en la implementación de la App ARPAID con las competencias básicas que constituyen su núcleo funcional. Se trata de proporcionar al estudiante una aplicación robusta, con las funciones esenciales completamente desarrolladas, de fácil manejo, intuitiva y estéticamente atractiva, con el objetivo de comprobar, mediante un análisis estadístico de los datos obtenidos, si su utilización supone una influencia positiva en el aprendizaje de la materia.

Fase II: Evaluación de usabilidad, interfaz de usuario y funcionamiento de la App. Incorporación de funcionalidades.

En el caso de comprobarse la hipótesis de que la aplicación móvil influye beneficiosamente en la adquisición de competencias por parte del alumno, se iniciará la segunda fase del desarrollo de la investigación. En ella, se evaluará el grado de satisfacción de los usuarios con los contenidos y las actividades prácticas proporcionados, además de recabar su opinión sobre la percepción sentida

durante la utilización de la App, es decir, la experiencia de usuario. Esta labor es fundamental y debe ser reiterada en la medida de lo posible, complementada por una evaluación sigilosa (stealth assessment), para obtener indicadores de mejora y sugerencias que permitan una retroalimentación para optimizar la App. Además, se implementarán características que complementen las funciones esenciales. Realizado este proceso, se volverá a investigar el beneficio de su uso en el aprendizaje.

Fase III: Externalización con Assets Bundles

En esta última etapa de la investigación se programará una nueva versión de la App que, haciendo uso de la característica de los paquetes de recursos de UNITY3D, permita disponer de un almacén amplio de modelos de conjuntos, problemas, cuestionarios, tareas y actividades. Como conclusión de la investigación que se propone se itera una vez más en el análisis de la influencia de la App en el aprendizaje.

Un resumen de la investigación propuesta, con el desglose por fases de las actividades esenciales, puede apreciarse en el diagrama de la figura 1.

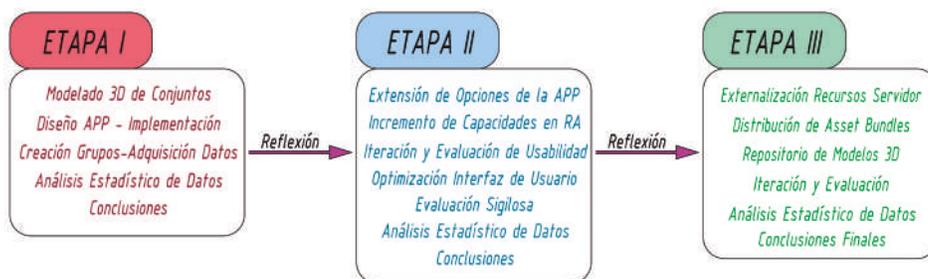


Figura 1. Diagrama de fases de la investigación

En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de la primera fase de la investigación. Como se puede apreciar, para la verificación de la hipótesis se ha dividido la muestra en dos grupos, de control y experimental, y se han creado una serie de instrumentos, cuestionarios y ejercicios prácticos que, una vez realizados, antes o después del experimento, han proporcionado los datos utilizados en el análisis estadístico.

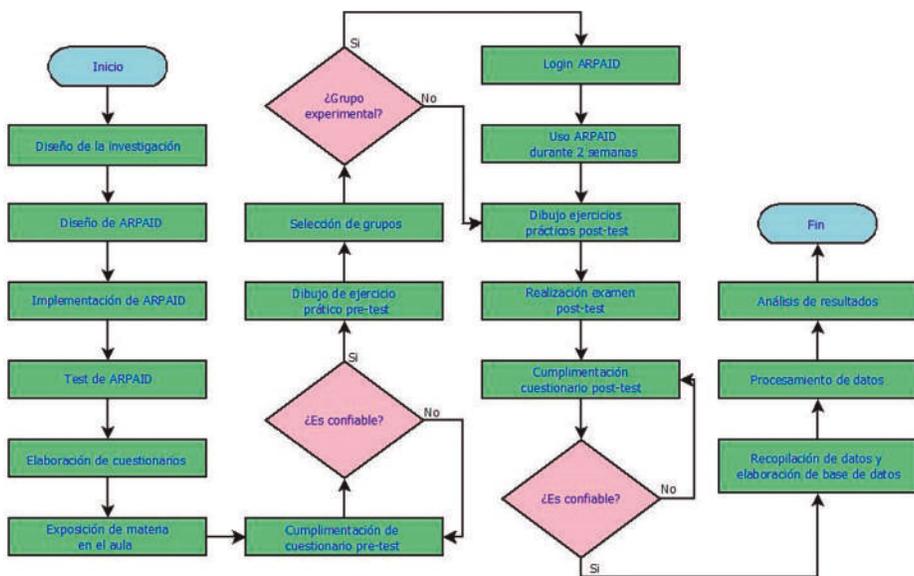


Figura 2. Diagrama de Flujo del procedimiento metodológico

2.4 Elementos de diseño de Realidad Aumentada

Wohlgenannt et al. [39] en su artículo definen los elementos de diseño más habituales en aplicaciones de realidad aumentada en educación superior. En las sucesivas fases de desarrollo del proyecto, la App ARPAID hará un uso amplio de las posibilidades que proporciona la realidad aumentada en dispositivos móviles. Ateniéndonos a la revisión propuesta por Radianti et al. [40] y basándonos en ella, se muestra, en la tabla 1, una lista de elementos de diseño que va a utilizar nuestra aplicación móvil.

Tabla 1. Definición de elementos de diseño AR de la aplicación.

Elemento de diseño	Definición	Aplicación
Entorno realista	El entorno virtual es de alta calidad gráfica y ha sido diseñado para replicar un entorno específico en el mundo real	✓
Observación pasiva	Los estudiantes pueden mirar alrededor del entorno virtual	✓
Moviéndose	Los estudiantes pueden explorar el entorno virtual por su cuenta teletransportándose o volando	NO APLICABLE
Interacción básica con objetos	Los estudiantes pueden seleccionar objetos virtuales e interactuar con ellos de diferentes maneras	✓
Ensamblar objetos	Los estudiantes pueden seleccionar objetos virtuales y juntarlos, incluida la creación de nuevos objetos mediante el ensamblaje de varios objetos individuales	✓
Interacción con otros usuarios	Los estudiantes pueden interactuar con otros estudiantes o maestros. La interacción puede tener lugar en forma de avatar y mediante herramientas de comunicación como la mensajería instantánea o el chat de voz	Fase I X
		Fase II ✓
		Fase III ✓
Gestión de roles	La aplicación AR ofrece distintas funciones para diferentes roles	Fase I X
		Fases II y III ✓
Compartir pantalla	La aplicación AR permite a estudiantes y profesores transmitir aplicaciones y archivos desde su escritorio local a pantallas virtuales	X
Contenido generado por el usuario	Los estudiantes pueden crear contenido nuevo, como modelos 3D, y subir este contenido nuevo al entorno virtual	X
Instrucciones	Los estudiantes tienen acceso a tutoriales o instrucciones sobre cómo usar la aplicación de AR y cómo realizar las tareas de aprendizaje	✓
Retroalimentación inmediata	Los estudiantes reciben retroalimentación textual, auditiva o táctil inmediata	Fase I X
		Fases II y III ✓
Prueba de conocimientos	Los estudiantes pueden verificar su progreso de aprendizaje a través de pruebas de conocimiento, cuestionarios o desafíos.	Fase I X
		Fases II y III ✓
Recompensas virtuales	Los estudiantes pueden recibir recompensas virtuales por completar con éxito las tareas de aprendizaje	Fase I X
		Fases II y III ✓
Tomar decisiones significativas	Los estudiantes aprenden en el entorno virtual mediante la participación en un escenario (juego de roles) que puede terminar de diferentes maneras	Fase I X
		Fases II y III ✓

2.5 Aplicación móvil

La app ARPAID se ha desarrollado en versiones para las dos plataformas móviles más extendidas, IOS y Android. Está disponible para su descarga gratuita en el Google Play Store. En el entorno Apple, debido a su política de control y acceso, sólo ha sido posible realizar una versión de prueba durante un periodo de 90 días, a través de la App **TestFlight**. Sin embargo, nuestros alumnos con iPhone o iPad han podido utilizar la App sin ninguna limitación durante el experimento.

2.5.1 Desarrollo en UNITY3D

ARPAID se ha desarrollado con el motor gráfico de desarrollo de videojuegos UNITY3D [41]. Las razones que nos han llevado a utilizar UNITY3D han sido, fundamentalmente, las que se exponen a continuación:

- Diseño multiplataforma: UNITY3D permite generar ejecutables para los más diversos dispositivos, desde equipos de sobremesa, consolas y dispositivos móviles. En nuestro caso, era necesario disponer la aplicación en las dos plataformas móviles más extendidas entre los estudiantes.
- Habilidad para situar modelos tridimensionales en un espacio tridimensional virtual y dotarlos de comportamiento mediante programación de scripts en C#.
- Facilidad para generar complejas y dinámicas Interfaces de Usuario (UI) con la posibilidad de superponer a la escena tridimensional información de entrada/salida.
- Calidad gráfica sobresaliente para crear escenas realistas, con texturas de calidad e iluminaciones complejas, mediante una *pipeline* a través de *shaders*.
- La organización en Escenas independientes y la programación de paso entre las mismas que permiten estructuras de flujo complejas y no meramente secuenciales.
- Posibilidad de conexión e intercambio de información con bases de datos relacionales, en servidores remotos, a través de protocolo TCP/IP (MySQL-Apache-PHP).
- Integración de Realidad Aumentada multiplataforma con AR Foundation [42]. AR Foundation funciona como un intermediario que permite usar características de Realidad Aumentada en diferentes plataformas y dispositivos, a pesar de las diversas soluciones propietarias de cada fabricante (HoloLens, Magic Leap, AR Kit o AR Core).

Básicamente, la versión inicial de ARPAID consta de cinco escenas de UNITY3D:

Escena de Autenticación y Registro de Usuarios: (fig.3) Esta escena permite la autenticación de estudiantes para usar la aplicación, su registro, si es el primer acceso, y, además, guarda toda la información relacionada, incluyendo fecha y hora de inicio de sesión, en una base de datos alojada en un servidor externo. Para tener control sobre el experimento, únicamente se permite el registro y acceso de los alumnos que componen la muestra, el cual se realizará por el número de documento identificativo.

The image shows a registration and login form titled "EXPRESIÓN GRÁFICA II". The form contains the following fields and elements:

- Nombre:** Introduce tu nombre...
- Primer Apellido:** Introduce tu primer apellido...
- Segundo:** Introduce tu segundo apellido...
- Usuario:** Introduce tu alias...
- DNI:** Introduce tu DNI con letra...
- Contraseña:** Introduce Contraseña...
- Repetir:** Repite Contraseña...
- Titulación:** Ingeniería Aeronáutica (dropdown menu)
- Dibujo Técnico:** Sí No
- Registrar** (button)
- Login** (button)

At the bottom left is the logo of the **universidad de león**. On the right side, there is a vertical green bar with the text "Fernando Jorge Fraile Fernández" and "Rébeka Martínez García" and a "PAID 2019" logo at the bottom.

Figura 3. Escena de login y registro

Escena de Menú Principal: Tras la autenticación se accede a una escena que informa de las dos posibilidades de uso de la App:

Modo Síncrono: Uso en el aula, realizando el tracking directamente, escaneando los códigos QR o imágenes proyectadas sobre el encerado.

Modo Asíncrono: Para poder utilizar la App fuera de las sesiones en el aula, durante el periodo de trabajo personal del estudiante, el profesor proporcionará apuntes o fichas con los códigos de rastreo pertinentes al tema estudiado.

Escena de escaneo de códigos QR (AR Tracking): Desde el menú principal se accede a la escena en la que, mediante el escaneo y reconocimiento del código QR correspondiente (fig.4), se cargará la escena de manipulación del conjunto. La elección de códigos QR en lugar de otras imágenes de rastreo (tracking) se ha tomado tras la comprobación de que son estos códigos monocromos los que mejor son reconocidos en el aula por los paquetes de Realidad Aumentada de los dispositivos móviles. En efecto, en una situación de trabajo en el aula, cada alumno enfoca la imagen de rastreo desde una distancia y un ángulo diferente, lo que, unido a la pérdida de calidad de la imagen proyectada, dificulta el reconocimiento correcto de la imagen.

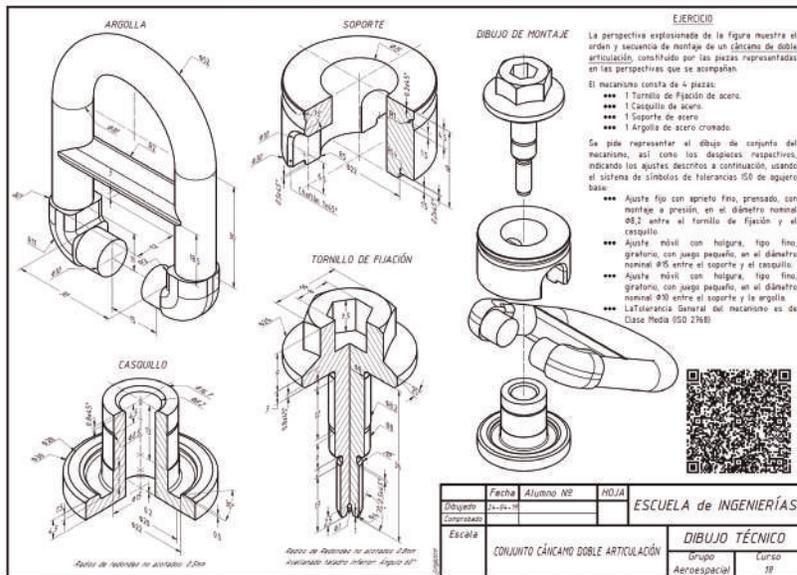


Figura 4. Ficha del conjunto Cáncamo con el código QR para el escaneado

Escena de manipulación del conjunto: Reconocida la imagen de rastreo, se carga la escena de manipulación del conjunto y se instancia en el espacio virtual una copia del ensamblaje asociado al código QR. Su apariencia puede observarse en la figura 5.

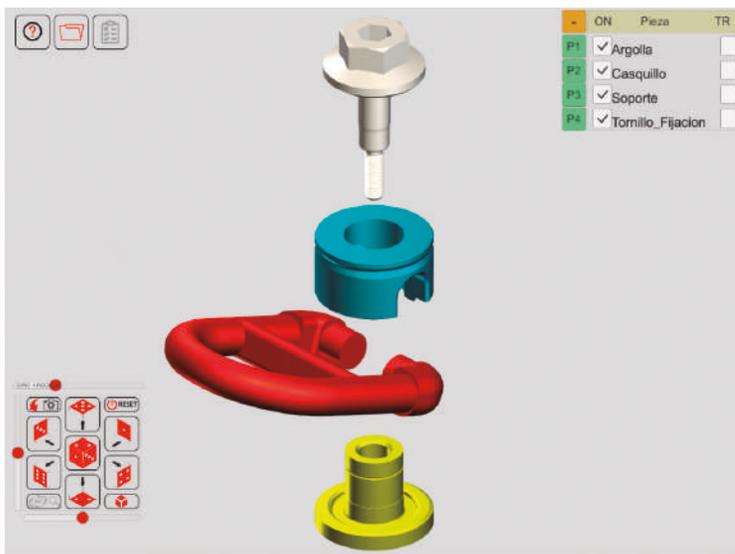


Figura 5. Escena de manipulación del conjunto

Además del modelo del conjunto, existen cuatro zonas en la pantalla, o paneles, que presentan diferentes iconos que al ser presionados ejecutan una serie de acciones. Estos paneles constituyen la interfaz de usuario (UI) de la escena, y se superponen, con un cierto grado de transparencia, sobre la vista del espacio virtual proporcionada por la cámara principal.

Se ha realizado una metódica tarea de análisis y prueba de la interfaz de usuario para conseguir la máxima comodidad, rapidez y facilidad de manejo de la app.

El usuario puede **cambiar el punto de vista** desde el que se realiza la observación mediante los denominados “Gestos” o toques de pantalla. La posibilidad de visualizar el conjunto desde cualquier orientación facilita su comprensión espacial y permite conocer la ubicación relativa de una pieza con las circundantes. El toque (touch) de un único dedo sobre la pantalla y su desplazamiento sobre la misma produce el giro respecto de los ejes X e Y (en UNITY3D el eje Y es el eje vertical). La componente horizontal del movimiento del dedo produce el giro de la cámara sobre el eje Y; la componente vertical, sobre el eje X. La rotación sobre el eje Z se realiza con la componente horizontal del desplazamiento de un dedo, pero sólo cuando éste se produce en una pequeña franja situada en la parte inferior de la pantalla. En cuanto a los desplazamientos lineales, el producido sobre el eje Z (profundidad), equivalente a un “zoom”, se produce al hacer un toque con dos dedos sobre la pantalla. Si los dos dedos se alejan, la cámara se acerca al objeto (zoom positivo), mientras que si se acercan, la cámara se aleja del conjunto (zoom negativo). El “encuadre” o “panorama”, es decir, el desplazamiento en las direcciones de los ejes X e Y se realiza mediante el movimiento de sendas barras de desplazamiento (sliders) situadas en el Panel de Visualización ubicado en la esquina inferior de la pantalla.

El cambio de punto de vista no modifica la posición relativa entre las piezas que componen el conjunto. **El desplazamiento relativo de las piezas del meca-nismo**, teniendo en cuenta las restricciones de posición y los grados de libertad de cada una de ellas, es una acción fundamental para interiorizar y comprender su funcionamiento. En esta escena de la app ARPAID, el usuario puede mover cada una de las piezas arrastrándola mediante el deslizamiento de un dedo sobre la pantalla. El movimiento de cada pieza está restringido al desplazamiento en la dirección de montaje y, en el caso de sea de naturaleza helicoidal, se complementa con la rotación que corresponda al paso de la hélice, lo cual facilita la correcta interpretación.

Si alguno de los componentes del conjunto presenta algún otro tipo de movimiento que sea necesario considerar para conseguir el montaje o el desmontaje, se añade una barra de deslizamiento (slider) en la parte superior del panel de visualización.

Para limitar el movimiento de las piezas a las restricciones geométricas y de posición del conjunto real, se ha optado por una doble vía: restricción por código y restricción por colisiones. Se da preferencia a la restricción por código, de tal

forma que los límites de movimiento entre piezas quedan definidos mediante su cálculo exacto, a través de la cinemática del mecanismo, y son programados con sentencias condicionales. Sin embargo, al poder desplazar los distintos componentes en la dirección del montaje, estos pueden ocupar posiciones aleatorias que complican el cálculo. En estas situaciones se ha optado por determinar el rango de desplazamiento mediante la detección de colisiones entre las mallas de los GameObjects que componen el modelo.

Para complementar las opciones de cambio de punto de vista y desplazamiento de componentes descritas anteriormente, se ha añadido un panel, denominado **Panel de Visualización**, ubicado en la esquina inferior izquierda de la pantalla.

Se ha prestado especial atención a las especificaciones de diseño del panel, que se precisaba compacto, de fácil manejo y con iconos autoexplicativos. En la parte central se sitúa un icono para cambiar el punto de vista a una perspectiva isométrica. Rodeando al icono central se encuentran seis iconos para obtener visualizaciones correspondientes a cada una de las vistas ortográficas del conjunto. La distribución de los iconos alrededor del centro, se ha realizado simulando el método de disposición de vistas de proyección desde el primer diedro (Sistema Europeo). En la esquina inferior derecha del panel se sitúa un icono que, al ser pulsado, modifica el punto de vista y desplaza las piezas del conjunto para mostrar una vista en perspectiva explosionada. Al deslizar el dedo situado sobre una de las piezas del conjunto, se producen dos efectos simultáneos, el desplazamiento del componente y el giro de la cámara, lo que puede provocar cambios no deseados. El icono de la esquina inferior izquierda del panel bloquea todas las opciones de movimiento de la cámara con el objeto de conseguir la mayor precisión en el movimiento de las piezas del conjunto. En la parte superior derecha del panel se encuentra situado el icono de Reset, que reinicializa el punto de vista y la posición de las piezas del conjunto.

Por último, el icono superior izquierdo recarga la escena de escaneo de códigos QR, lo que va a permitir cambiar el conjunto instanciado. Una imagen detallada del panel se muestra en la figura 6.



Figura 6. Panel de visualización

Ubicado en la esquina superior derecha de la pantalla se encuentra el **Panel de Despieces**. En él se muestra el listado de cada una de las piezas del conjunto para las que se pueden elegir diversas acciones. A diferencia del de visualización, que actuaba sobre el mecanismo en su totalidad, las opciones seleccionables en el panel de despieces afectan exclusivamente a la pieza escogida. Poder ocultar, mostrar o visualizar, con un cierto grado de transparencia, piezas individuales del mecanismo, profundiza en la construcción del conocimiento mediante la manipulación de objetos o entidades, en este caso virtuales [29]. La posibilidad de mostrar componentes con transparencia, como se ve en la figura 7, aporta una visualización novedosa del ensamblaje en su posición de funcionamiento, imposible de conseguir con un conjunto material que presente piezas interiores.

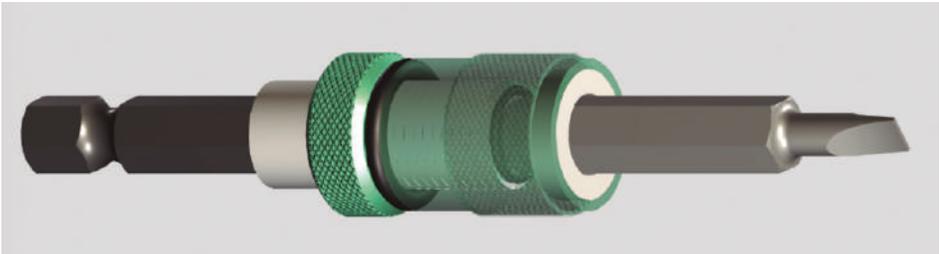


Figura 7. Vista con transparencia de un ensamblaje

En cada pieza listada en el panel de despieces (fig.8) se muestra un botón que, al ser activado, carga la escena de definición y manipulación de despieces.

-	ON	Pieza	TR
P1	<input checked="" type="checkbox"/>	Adaptador_Porta	<input type="checkbox"/>
P2	<input checked="" type="checkbox"/>	Cierre_Superior	<input type="checkbox"/>
P3	<input checked="" type="checkbox"/>	Iman_Neodimio	<input type="checkbox"/>
P4	<input checked="" type="checkbox"/>	Junta_Torica_7_3	<input type="checkbox"/>
P5	<input checked="" type="checkbox"/>	Junta_Torica_10	<input type="checkbox"/>
P6	<input checked="" type="checkbox"/>	Punta	<input type="checkbox"/>
P7	<input checked="" type="checkbox"/>	Racor	<input type="checkbox"/>
P8	<input checked="" type="checkbox"/>	Tope	<input type="checkbox"/>

Figura 8. Detalle de botones y toggles del Panel de Despieces

Por último, en la esquina superior izquierda de la pantalla se ha añadido el denominado **Panel de Información**, donde se encuentran las opciones que mostrarán al estudiante todos los datos pertinentes y necesarios para el entendimiento del conjunto, así como las actividades que se le proponen y cuestionarios de evaluación y autoevaluación para medir el grado de significación del aprendizaje alcanzado. El panel de información, que se muestra en la figura 9, se ha estructurado en tres apartados que compartimentan las diferentes clases de información. El primer icono accede a la información de ayuda para el manejo de la aplicación ARPAID. El segundo icono muestra todos los datos relativos a la documentación del producto: componentes del conjunto, número de instancias de cada uno de ellos, su material, clases de tolerancias y ajustes para cada pieza, rugosidades y estados superficiales. Además, se incluye el enunciado del trabajo que se propone al alumno y otro tipo de información que se considere útil para el aprendizaje.

La tercera sección del panel está planificada para que el alumno realice una serie de actividades y cuestionarios de autoevaluación diseñados para medir el grado de conocimiento alcanzado, pero también, al mismo tiempo, que sirvan como continuación y refuerzo en la labor de aprendizaje. La inclusión de todo el marco de autoevaluación y de evaluación sigilosa está previsto que sea añadida en la siguiente etapa del desarrollo metodológico.

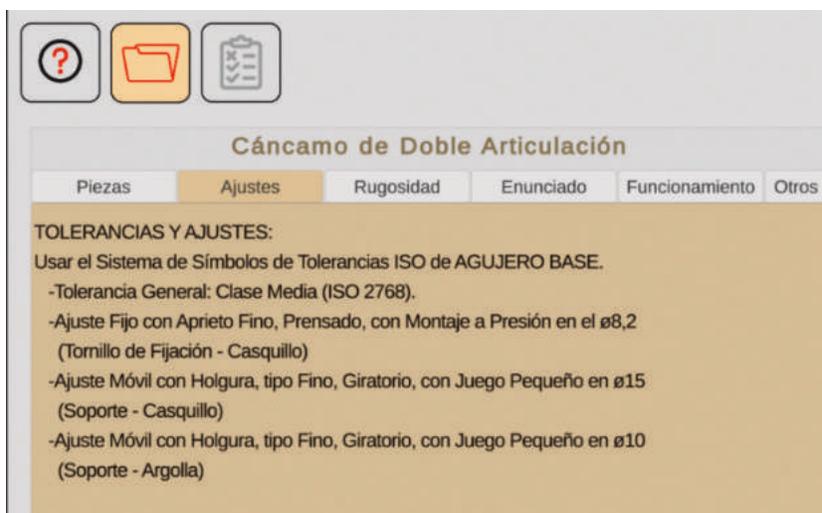


Figura 9. Panel de información

Escena de definición y manipulación de los despieceos.

En esta escena se pone en foco la interacción del usuario con piezas individuales, fuera del contexto del conjunto mecánico. En efecto, la manipulación del conjunto y el movimiento relativo de unos componentes respecto a otros, es fundamental, pero no es menos importante conocer todos los detalles de forma y dimen-

siones de una pieza para poder entender mejor la manera en que interactúa con el resto de piezas del conjunto y facilitar al estudiante la comprensión de cuáles son las dimensiones funcionales que intervienen en su correcto funcionamiento.

El diseño de la experiencia de usuario (UX) [43] y su interfaz (UI) [44] utiliza los mismos criterios y organización que en la escena de manipulación del conjunto. La modificación del punto de vista utiliza los mismos gestos y botones, diferenciándose los iconos en el color para que el estudiante distinga claramente en qué escena se encuentra. En el panel de visualización desaparece, como es lógico, la opción de obtener la perspectiva explosionada, la cual es sustituida por una vista de la pieza a la que se le ha retirado un cuadrante para poder observar claramente sus detalles internos.

En esta escena desaparece el panel de despiece y se mantiene el panel de información, adaptado a las características particulares. Con el objetivo de proporcionar al alumno toda la información necesaria para la definición dimensional y formal de cada pieza del conjunto, se ha añadido un panel, en la esquina inferior derecha de la pantalla. Este **Panel de Definición** (fig.10) visualiza una imagen de la perspectiva isométrica de la pieza, con acotaciones, que puede ser utilizada para la confección posterior de los planos necesarios para representar el conjunto completo de forma normalizada. El tamaño de la imagen puede ser modificado mediante una barra de desplazamiento.

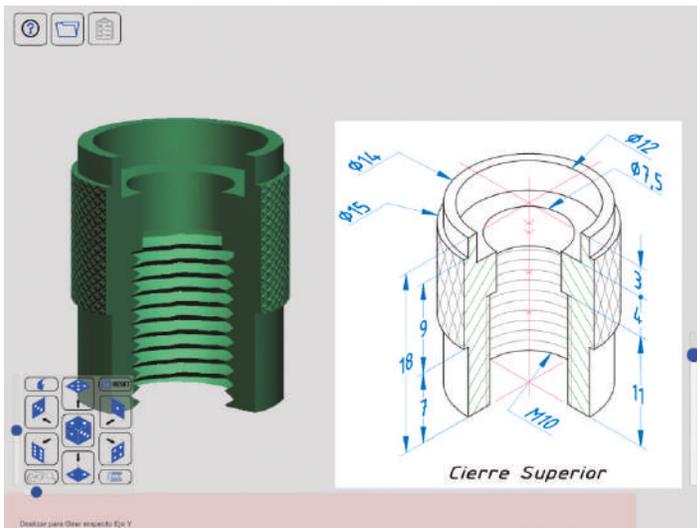


Figura 10. Escena de definición y manipulación de los despieces

El diagrama estructural y de flujo de la App, basado en las escenas creadas en el Editor de UNITY3D se muestra en la figura 11 (debido a su tamaño y las dificultades de visualización, se ha dividido en tres partes consecutivas de izda. a dcha)

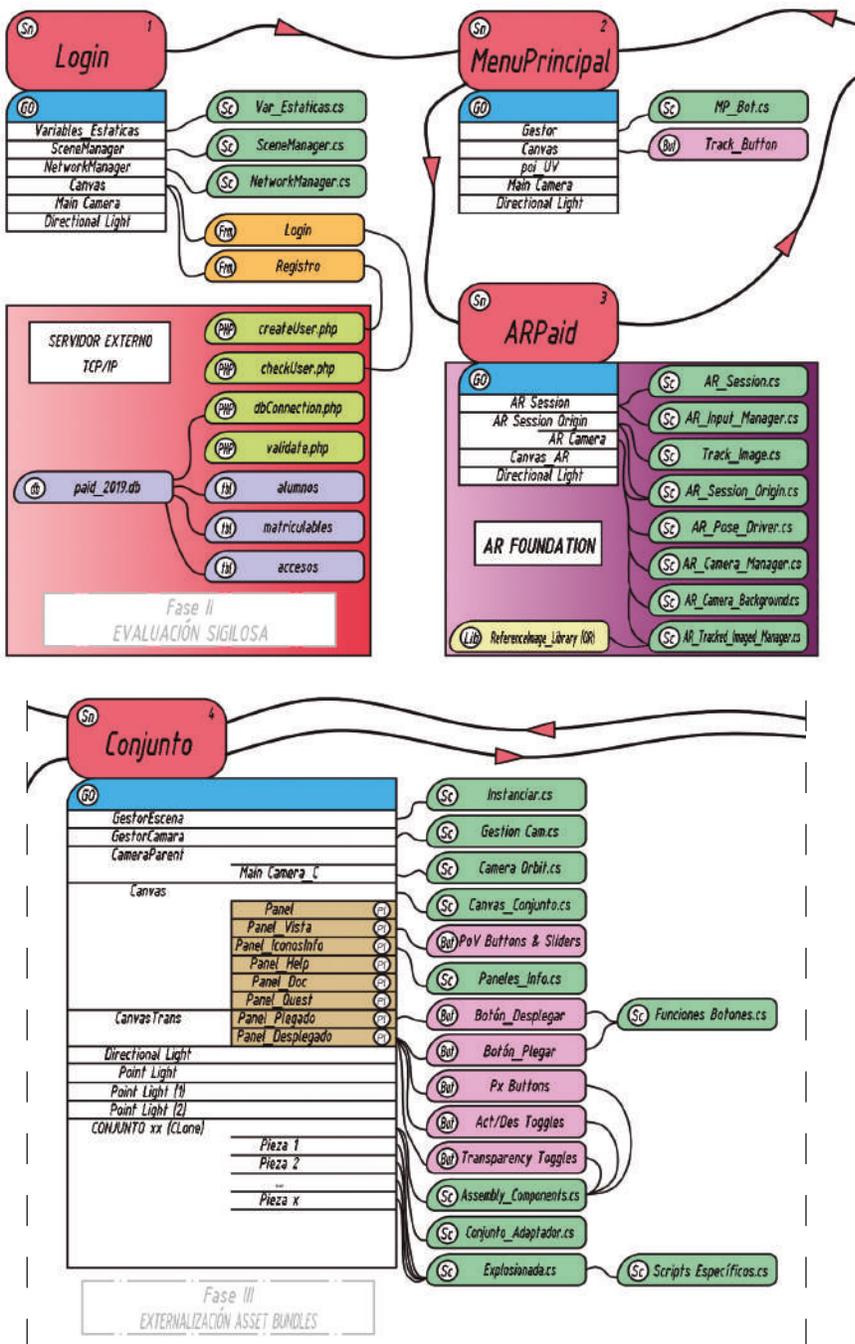


Figura 11. Diagrama de la app en el entorno de desarrollo de UNITY3D

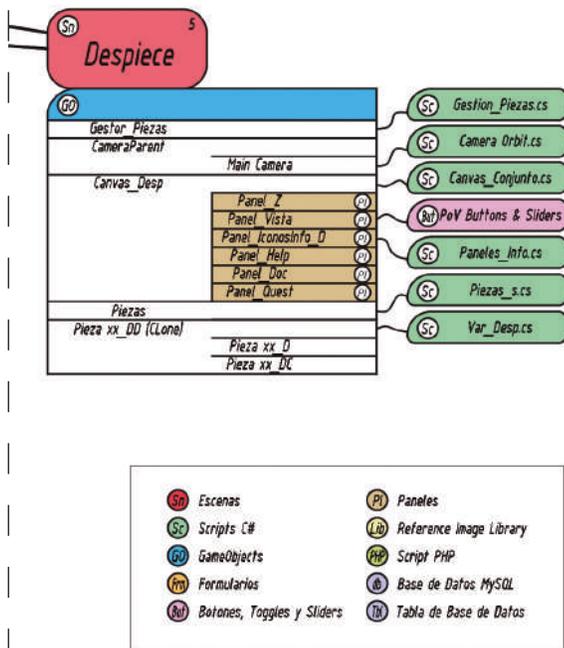


Figura 11. Diagrama de la app en el entorno de desarrollo de UNITY3D

Modelado 3D con CATIA [45]

UNITY3D es un motor de creación de simulaciones que utiliza una serie de ficheros y documentos denominados *assets* que son cargados en la escena como GameObjects. Existen muchos tipos de assets, pero entre los más importantes, sin duda, se encuentran los objetos tridimensionales, las mallas (mesh). Un GameObject de tipo malla tiene una componente, llamada *mesh renderer*, que es la responsable de su visualización en pantalla. Los GameObjects tienen, además, otra componente, denominada *transform*, que sirve para situar la malla en el espacio virtual, pudiendo modificar su posición, su rotación y su escala.

UNITY3D no tiene herramientas nativas de modelado tridimensional de superficies complejas. Por consiguiente, las mallas que componen las piezas de los conjuntos del experimento tienen que ser modeladas en un software externo y, posteriormente ser importadas en el motor gráfico de UNITY3D.

ARPAID ha sido diseñada con unas especificaciones de calidad que favorezcan una Experiencia de Usuario (UX) satisfactoria, de tal forma que el estudiante se encuentre en un ambiente de trabajo fácil de usar y lo más inmersivo posible [46]. El objetivo es conseguir que el usuario tenga la sensación de estar trabajando con un objeto real y, además, que la manipulación sea sencilla e intuitiva. De esta manera la atención se va a centrar en el experimento y no en cómo resolver las dificultades de manejo.

Para lograr este objetivo, los conjuntos que van a ser utilizados dentro de la app tienen que tener gran exactitud geométrica y precisión dimensional, por lo que han sido modelados con un software de referencia en sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD): CATIA de Dassault Systèmes.

La organización del conjunto, formado a partir de una serie de modelos de las piezas constituyentes, situadas en el espacio en relación a las restricciones geométricas de posición, proporciona una estructura jerarquizada de sólidos que puede ser almacenada en un único fichero. Como se puede apreciar en la figura 12, la estructura en árbol de los archivos de tipo “producto” de Catia, es similar a la organización jerárquica de “prefabs” y “gameobjects” en UNITY3D, basada en relaciones padre-hijo

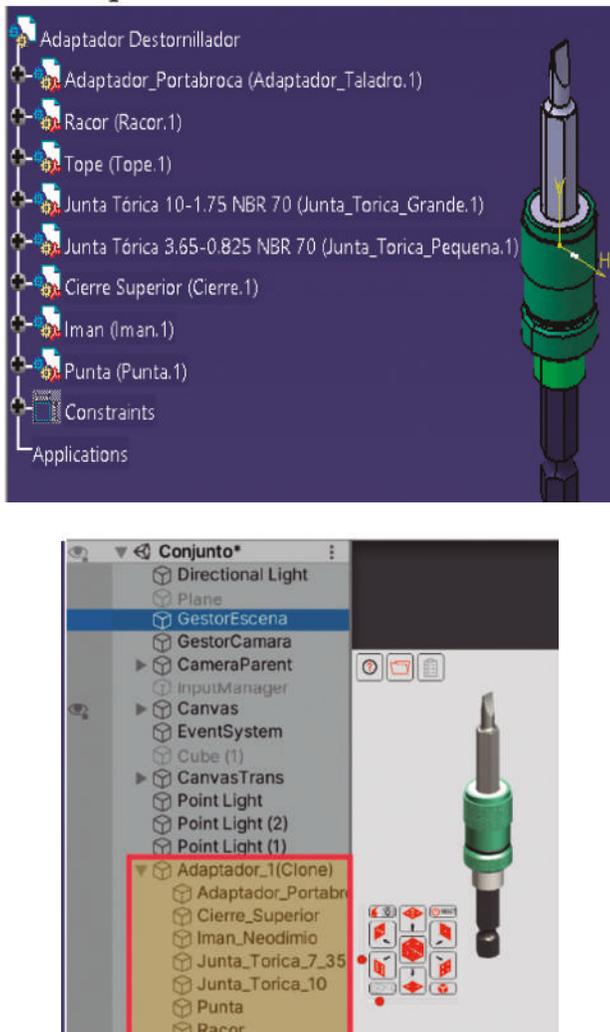


Figura 12. Conservación de la Jerarquía del modelo entre CATIA y UNITY3D

3DStudio Max como conversor de formato [47]

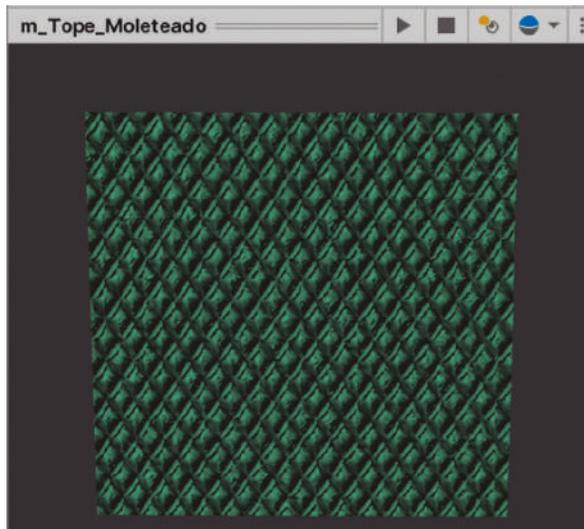
Sin embargo, los modelos creados con Catia no pueden ser incluidos directamente en una escena de UNITY3D. Catia genera objetos en formato “sólido” con el kernel CGM (Convergence Geometric Modeler), muy adecuado para aplicaciones mecánicas y de CAM/CAE. En cambio, UNITY3D usa un formato de objeto de tipo “malla”, mucho más adecuado para aplicaciones en las que se necesita una representación con actualizaciones y cálculos a tiempo real. Las utilidades de exportación de Catia no permiten salvar mallas, por lo que es necesario realizar la transformación de formatos con un software intermediario. Se ha optado por utilizar 3DStudio Max por varias razones:

- Posibilidad de importar directamente archivos de producto nativos de Catia (conjuntos, *.catProduct).
- Proporciona posibilidad de exportación de archivos en los dos formatos de malla con los que puede trabajar UNITY3D (FBX y OBJ).
- Mantenimiento de la estructura jerárquica de los componentes con relaciones padre/hijo.
- Facilidad en la modificación del Punto o Centro de Giro (Pivot) de las piezas del conjunto para adaptarlo a las restricciones de giro en el mecanismo.
- Asignación individualizada de materiales a distintas superficies de una misma pieza, tarea muy difícil de realizar en el entorno de desarrollo de UNITY3D.

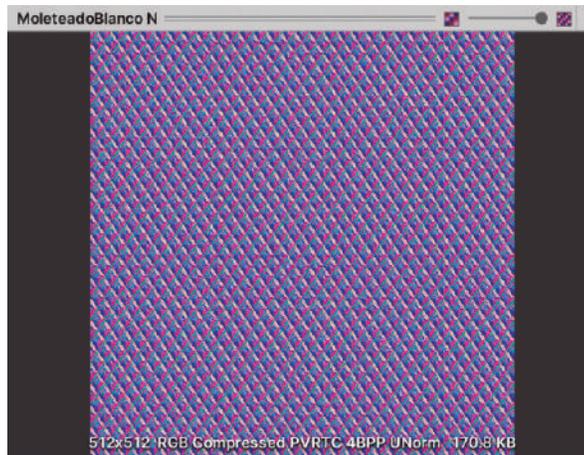
Creación de texturas con Gimp [48]

Además de la precisión geométrica y dimensional, para mantener la verosimilitud de la experiencia es imprescindible que la apariencia del modelo tridimensional se asemeje todo lo posible a la de un objeto real. Esto incluye prestar especial atención a la creación de los materiales que son asignados a las superficies de los objetos. Entre los parámetros más importantes de un material en UNITY3D se encuentran la elección del tipo de *shader*, relacionado con la *pipeline* gráfica, los mapas UV, que simulan rugosidad, y la textura asignada a las superficies. Las texturas son imágenes de mapas de bit, fotográficas o sintetizadas con programas de diseño gráfico, que van a proporcionar la apariencia realista de los objetos situados en la escena.

En el desarrollo de la app ARPAID se ha utilizado el programa GIMP para la creación y tratamiento de las texturas “tileables” (fig.13), aquellas que se repiten en mosaico hasta rellenar una superficie. Una buena textura será aquella que imite fielmente la apariencia de la superficie y en la que la transición entre repeticiones adyacentes del patrón resulte natural.



(a)



(b)

Figura 13. (a) Textura tileable para superficies moleteadas; (b) Mapa de normales UV

Iconos con Illustrator [49]

Un factor importantísimo para una satisfactoria Experiencia de Usuario (UX) en el uso de ARPAID es el diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).

El uso de iconos como medio de transmisión de información mejora notablemente la usabilidad de la app, siempre y cuando la iconografía utilizada haya sido bien pensada y diseñada con una metodología acorde con la semiótica actual en medios digitales (ver figura 14). Los objetivos pretendidos en nuestra labor de diseño de la GUI han sido, fundamentalmente, la claridad, simplicidad en las formas, uniformidad, discriminación cromática e interpretación fácil e intuitiva [50]

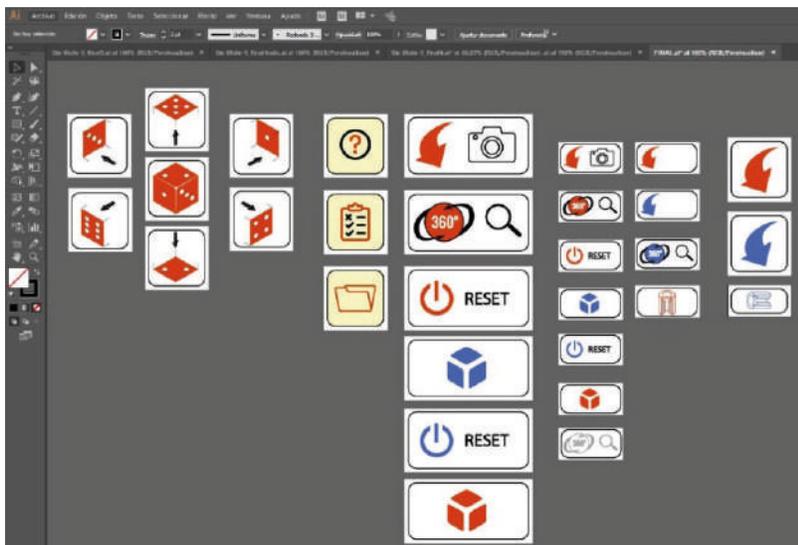


Figura 14. Plantilla de diseño de iconos de la App en Illustrator

Autocad: Planos de documentación de producto [51]

Al tratarse de conjuntos mecánicos en el contexto de una clase de dibujo técnico, gran parte de la documentación aportada a los estudiantes está en la forma de planos normalizados, con representaciones realizadas, bien en perspectiva, bien mediante vistas diédricas.

Mientras el trabajo de modelado tridimensional se ha llevado a cabo con el software CATIA, para la confección de planos normalizados se ha optado por utilizar AutoCad, debido a sus grandes capacidades como programa de delineación y su versatilidad a la hora de crear planos en diferentes formatos.

Como resumen de la implementación de la aplicación móvil ARPAID, en la figura 15 se muestra un diagrama de flujo del proceso, desde el enfoque de las necesidades de software y de compatibilidad entre formatos de archivo.

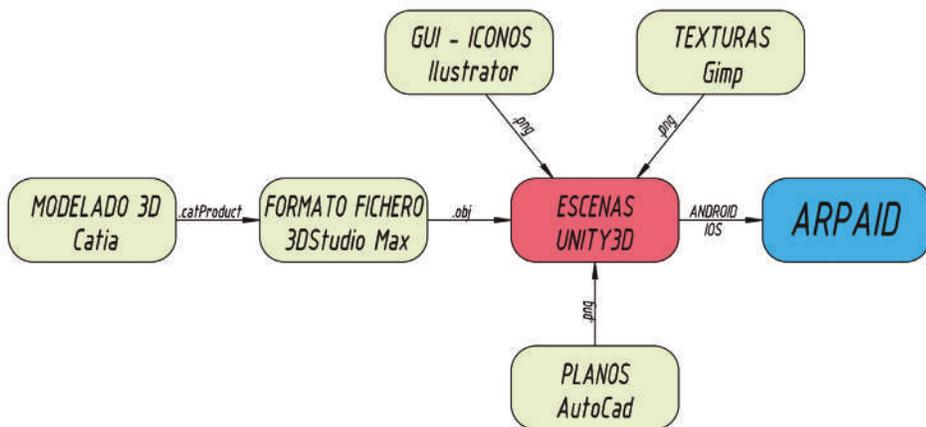


Figura 15. Diagrama de Flujo del proceso de implementación de la app.

Necesidades de Software y compatibilidad de archivos

2.6 Mecanismos modelados para ARPAID

Para la primera fase de la investigación se han modelado dos conjuntos completos que constituyen una parte del trabajo práctico de la asignatura:

Conjunto Portapunta Magnético (figuras 7 y 16.a)

Conjunto Cáncamo de Doble Articulación (figuras 4, 5 y 16.b)

En la actualidad se está trabajando en el modelado de una serie de mecanismos que constituirán un repositorio amplio de recursos para el aprendizaje de nuestros estudiantes.

2.7 Muestra del estudio y participantes

La experiencia se realizó durante el curso académico 2019-2020 en la asignatura común de Expresión Gráfica II, perteneciente al primer curso de los grados de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de León. En total, la muestra estuvo formada por 153 estudiantes.

Debido a la organización docente en la Escuela de Ingenierías de la ULE, el experimento ha tenido que realizarse por grupos ya existentes, es decir, grupos naturales, sin posibilidad de distribuir aleatoriamente la pertenencia a los mismos. Esto podría producir diferencias notables entre los grupos en el estado inicial, esto es, falta de equivalencia. Por consiguiente, se ha optado por un diseño cuasi-experimental [52] con pre-test y post-test y dos grupos, el experimental, que ha utilizado la App, y el de control, que no la ha utilizado.

Así, con el objetivo de equilibrar las posibles diferencias entre el grupo de control y el experimental, se ha optado por unir en el grupo experimental dos

de las titulaciones. Así, el grupo experimental se formó con los alumnos de Ingeniería Aeroespacial e Ingeniería Eléctrica, constituyendo los alumnos de Ingeniería Electrónica el grupo de control.

Todos los grupos contaron con el mismo profesor de la materia (el primer autor de este artículo), usando los mismos materiales, apuntes y libro de ejercicios prácticos; además, fueron sometidos a pruebas y ejercicios de examen del mismo nivel de exigencia. La única diferencia entre ambos grupos ha sido la utilización de la App ARPAID por parte del grupo experimental. Para la evaluación de la influencia de la App ARPAID en el aprendizaje de los alumnos, todos los grupos realizaron un cuestionario inicial (pre-text), otro final (post-test) y han realizado cuatro ejercicios evaluables, uno de ellos examen, con valor en la nota final de la asignatura.

La muestra está formada por un total de 153 estudiantes, 67 de ellos pertenecientes al Grado de Ingeniería Aeroespacial (43.79%), 16 alumnos del Grado de Ingeniería Eléctrica (10.46%) y 70 alumnos del Grado de Ingeniería Electrónica (45.75%). Por tanto, el grupo experimental está compuesto por 83 estudiantes (54.25%), mientras que el grupo de control consta de 70 alumnos (45.75%). De los 153 alumnos totales, 30 son mujeres (19.61%) y el resto, 123, hombres (80.39%). La franja etaria de muestra está comprendida entre los 19 y los 45 años de edad.

2.8 Recursos utilizados

La aplicación desarrollada puede ser usada en dispositivos móviles, teléfonos de última generación y tablets. La aplicación se ha desarrollado para las dos plataformas móviles más extendidas del mercado, los dispositivos IOS y ANDROID. El uso de la realidad aumentada requiere, al menos, la versión 13 de IOS y la 7.0 de ANDROID. Según encuesta realizada a los alumnos sobre dispositivos móviles, el 100% poseen móvil de última generación, de los cuales un 68% tiene el sistema operativo Android y el resto IOS. Tan solo el 40% de los alumnos consultados poseen tablet y el 100% de la muestra posee ordenador, de los cuales un 67% es un ordenador portátil, frente al 33% restante que posee ordenador de sobremesa.

En esta primera fase se ha desarrollado una versión de la App para poder ser utilizada en versiones anteriores a la 7.0 del sistema operativo Android, con la finalidad de que toda la muestra pudiera utilizarla durante el desarrollo del experimento, aunque sin las opciones de Realidad Aumentada y detección (tracking) de imágenes.

Los instrumentos utilizados para determinar si la App ARPAID tiene una influencia positiva en el aprendizaje del tema de Dibujo de Conjuntos han sido los siguientes:

- Cuestionario de conocimientos Pre-test
- Cuestionario de conocimientos Post-test
- Ejercicio práctico Pre-test: Conjunto Separador

- Ejercicio práctico Post-test 1: Conjunto Cáncamo
- Ejercicio práctico Post-test 2: Conjunto Portaherramientas
- Ejercicio de examen Post-test

2.8.1 Cuestionario de Conocimientos Pre-test

El cuestionario Pre-test se ha utilizado con el objetivo de determinar la equivalencia de los grupos previa a la experiencia, al no ser posible una asignación al azar de sus miembros.

Las preguntas del cuestionario son generales y relativas a la materia de la representación de conjuntos mecánicos, y fue pasado a los estudiantes durante el inicio de las sesiones explicativas en el aula. El cuestionario pretende ser un medidor del nivel de conocimiento de la materia objeto del experimento, en un estado inicial del aprendizaje. Mediante este test, se determinará si no existen diferencias significativas en el nivel o, si por el contrario, no hay equivalencia entre los grupos experimental y de control, en cuyo caso será posible cuantificar esa disparidad.

El pre-test consta de 20 preguntas donde el alumno tendrá que elegir la respuesta o las respuestas correctas, entre las 4 ó 6 posibilidades que se le proporcionan. Ha sido elaborado por el equipo docente que realiza esta investigación. (Se puede consultar el cuestionario en el apéndice 1).

2.8.2 Cuestionario de Conocimientos Post-test

No siendo el experimento la única fuente de conocimiento y aprendizaje de la materia, sino complemento de la misma, es de esperar que se produzca una tendencia a la nivelación en el rendimiento entre los dos grupos y, si el experimento tiene una influencia significativa en el aprendizaje de los estudiantes, se debería observar el mantenimiento de la divergencia, si bien, en un menor grado.

Por consiguiente, después del trabajo con la App ARPAID, se ha pasado a los alumnos un cuestionario post-test para poder valorar estos aspectos. Se ha decidido utilizar el mismo formulario que en el pre-test, con la particularidad de que el orden de las preguntas y de las posibles respuestas se ha modificado de manera aleatoria.

2.8.3 Ejercicio Práctico Pre-test

El cuestionario pre-test realizado por los alumnos pretende apreciar, de manera general, la existencia de diferencias significativas en el nivel de los grupos. El ejercicio práctico pre-test es una medida más específica de las diferencias, ya que se trata de una tarea en la que el alumno resuelve la representación de los planos de un ensamblaje mecánico concreto, en este caso, el conjunto separador de la figura 17(a). Esta práctica va a ser realizada después de la exposición de conceptos y resolución de problemas en el aula. Se programa después del trabajo expositivo en el aula e inmediatamente antes del inicio del experimento con la App ARPAID. En este momento del experimento, hipotéticamente, tendría que darse

la mayor equivalencia entre el grupo de control y el experimental y, en el caso de que la App ARPAID tuviere una influencia significativa en el aprendizaje, el nivel de ambos grupos debería volver a divergir (ver fig.21).

2.8.4 Ejercicios Prácticos Post-test

Como medio de afianzar los conocimientos adquiridos en las sesiones presenciales en el aula, el alumno tiene que realizar un trabajo personal bien individual, o bien en grupo. En las clases teóricas adquiere los conceptos necesarios relativos al tema de estudio y, con la confección de una serie de ejercicios prácticos guiados, donde se aplican esos conceptos, el alumno los interioriza mediante la aplicación de los métodos expuestos y desarrollados por el profesor. Como parte de ese trabajo personal del alumno fuera del aula, el profesor plantea el dibujo de una serie de ejercicios prácticos obligatorios y otros de naturaleza voluntaria, dibujados con herramienta tradicional o con software de Diseño Asistido por Ordenador.

Además del conjunto utilizado en el Ejercicio Práctico Pre-test, los estudiantes tienen que representar gráficamente, de forma obligatoria, los planos de otros dos conjuntos mecánicos. Estos 3 ensamblajes obligatorios están diseñados con un grado de dificultad incremental, añadiendo, en cada uno de ellos, nuevos elementos de máquinas normalizados y conceptos relacionados como los ajustes o las rugosidades. El ejercicio pre-test, un conjunto separador (fig.17(a)) y los dos ejercicios post-test, el conjunto portaherramienta (fig.16(a)) y el conjunto cáncamo de doble articulación (fig.16 (b)), representan esta política metodológica de complejidad gradual.

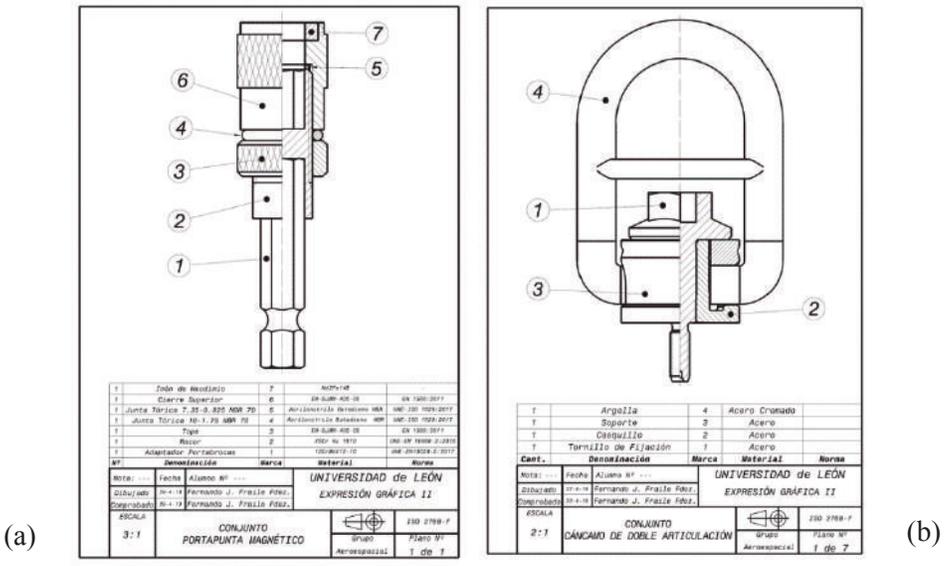


Figura 16. Fichas de los ejercicios post-test: (a) Conjunto portaherramientas

(b) Conjunto cáncamo

El conjunto pre-test y el primer ejercicio post-test son realizados a lápiz, con herramienta tradicional, mientras que el segundo ejercicio post-test es confeccionado a través del software AutoCad.

En esta etapa del experimento, si se ha cumplido la hipótesis expuesta anteriormente, con las explicaciones en el aula por parte del profesor, se ha producido, en mayor o menor grado, una nivelación entre los grupos. Teniendo en cuenta que antes de dibujar los dos ejercicios post-test el grupo experimental ha tenido acceso a la App ARPAID y, por consiguiente, ha podido experimentar con los modelos incluidos, si esta App realmente tiene una influencia positiva y favorece el aprendizaje significativo, la calificación obtenida por este grupo experimental sería una mejora respecto a las obtenidas por el grupo de control.

Cabe comentar que los conjuntos mecánicos que deben dibujar todos los estudiantes son los mismos que los modelos que el grupo experimental utiliza dentro de la App.

2.8.5 Ejercicio de Examen Post-test

En la evaluación de la asignatura de Expresión Gráfica II, la parte dedicada a la representación de conjuntos mecánicos participa con un 35% de la nota final y es evaluada mediante la realización de una prueba de examen, consistente en dibujar los planos de un ensamblaje, el presentado en la figura 17(b).

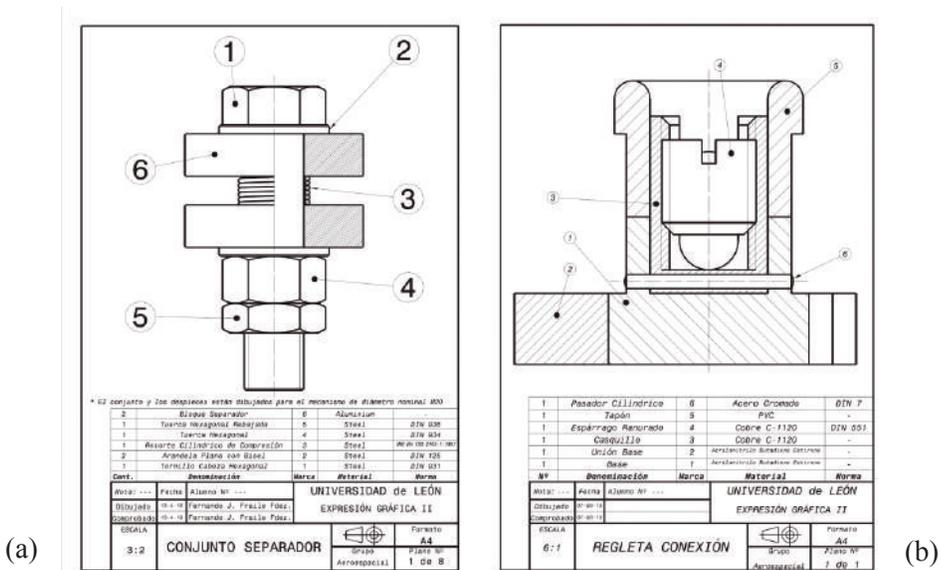


Figura 17. Fichas de ejercicios evaluables: (a) Conjunto separador;

(b) Conjunto regleta de conexión

Este ejercicio también se ha incluido como instrumento en el experimento, debido a que no es una prueba y una calificación más, sino que se supone que, para su realización, el estudiante se ha preparado para obtener la mejor calificación posible. Por esta razón puede ser considerado como un instrumento fiable en la valoración de la experiencia.

Además, el examen al ser un ejercicio nuevo, no está relacionado con los conjuntos trabajados en la App ARPAID. Esto puede ser un indicador bastante objetivo para comprobar si la influencia significativa del uso de la App en el aprendizaje, si se produce, puede ser generalizada, no sólo a los conjuntos del experimento (Portaherramientas y Cáncamo), sino a cualquier otro mecanismo. Esto significaría que reforzaría un aprendizaje significativo y la adquisición de las competencias relacionadas con la teoría de la representación de los conjuntos.

2.9 Planificación temporal del experimento

Basándose en las posibilidades que ofrecen las tecnologías de dispositivos móviles, con la posibilidad de incrustar características de Realidad Aumentada en las Apps, y en la teoría Construccionalista de Seymour Papert como modelo, los autores de la presente fase de la investigación la han planificado y realizado un cronograma (fig.18), de acuerdo a las siguientes etapas:

- Etapa 1: Revisión de literatura científica para acotar los términos del experimento y el estado del arte actual en términos teóricos y tecnológicos.
- Etapa 2: Diseño inicial del experimento, delimitando las hipótesis, objetivos y metodologías que serán utilizados.
- Etapa 3: Diseño inicial de la App, estableciendo su estructura, metodología y componentes.
- Etapa 4: Preparación de los instrumentos de evaluación de la investigación.
- Etapa 5: Desarrollo e implementación del prototipo de la app.
- Etapa 6: Análisis del prototipo de la app, pruebas de test (unit tests), iteraciones.
- Etapa 7: Trabajo con el profesor en el aula de la materia de conjuntos mecánicos.
- Etapa 8: Implementación de la App en las diferentes plataformas de desarrollo (IOS, ANDROID).
- Etapa 9: Creación de los grupos de control y experimental.
- Etapa 10: Realización del cuestionario Pre-test.
- Etapa 11: Realización del Ejercicio Práctico Pre-test.
- Etapa 12: Descarga de la App en los móviles de los estudiantes del grupo experimental. Periodo de dos semanas de uso de la aplicación para trabajar el contenido.
- Etapa 13: Realización del cuestionario Post-test por los alumnos de ambos grupos.

- Etapa 14: Dibujo de los ejercicios prácticos post-test 1 y 2 por todos los estudiantes, los del grupo experimental y los del grupo de control.
- Etapa 15: Ejercicio de Examen Post-test.
- Etapa 16: Análisis y tratamiento estadístico de datos.
- Etapa 17: Extracción de conclusiones y resultados de la investigación.
- Etapa 18: Propuesta de mejoras y planificación de la Fase II.

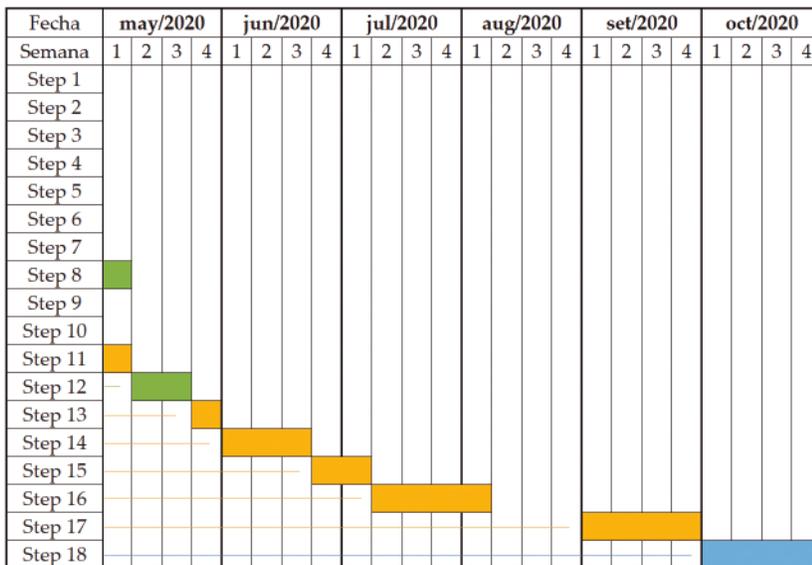
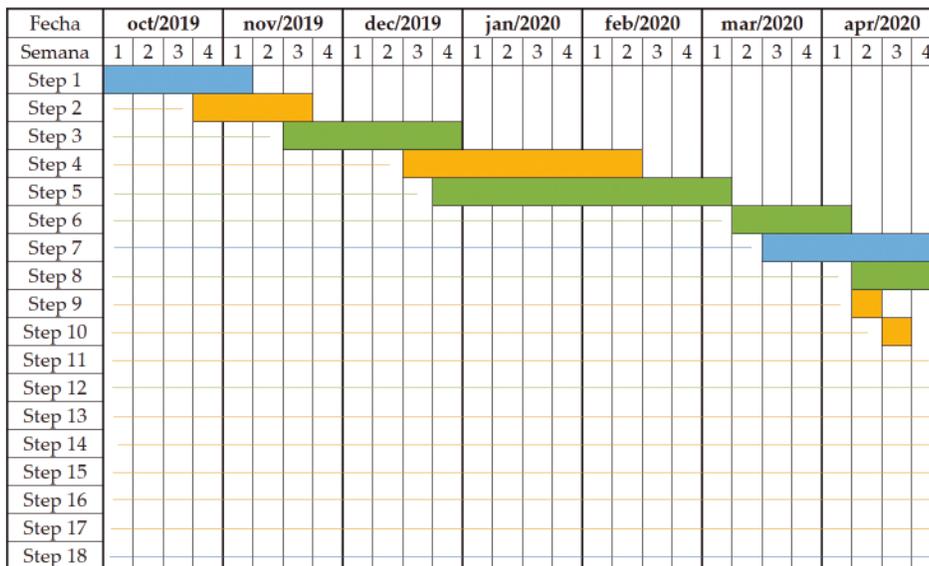


Figura 18. Cronograma del procedimiento metodológico de la fase I

3. Resultados y discusión

3.1 Evaluación de los resultados de aprendizaje

Tras la tabulación, tratamiento y análisis de los datos obtenidos durante la investigación, se va a proceder a la exposición motivada de los resultados.

3.1.1 Cuestionario de Conocimiento Pre-test

Las medidas de estadística descriptiva del Cuestionario de Conocimientos Pre-test confirman la suposición inicial de la falta de equivalencia entre los grupos experimental y de control, debida, fundamentalmente, a que la nota media de ingreso en la universidad de los alumnos del Grado de Ingeniería Aeroespacial es sensiblemente superior a la del resto de estudiantes pertenecientes a otras titulaciones. Incluso equilibrando ese grupo con el grupo de nota media de ingreso inferior, se mantiene la falta de equivalencia.

En efecto, la nota media obtenida en el cuestionario pre-test por el grupo de control ha sido de 8,73 (sobre 20), mientras que la del grupo experimental fue de 12,03, superior en 3,3 puntos.

El análisis de la desviación típica indica menor dispersión en el grupo de control (2,95) que en el experimental (3,75). La mayor dispersión del grupo experimental se explica por su composición heterogénea, contando con unos estudiantes con muy buenos resultados académicos y otros con resultados académicos inferiores (ver figura 19).

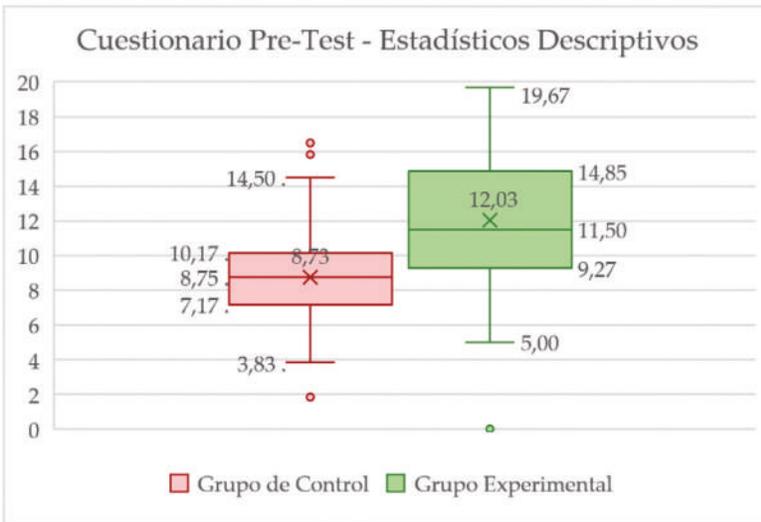


Figura 19. Cuestionario Pre-test- Estadísticos descriptivos.

3.1.2 Ejercicio Práctico Pre-test

La siguiente hipótesis de trabajo que se planteó consistió en suponer que las sesiones presenciales, tanto en clases teóricas como en clases de resolución de ejercicios, llevadas a cabo por el mismo docente, siendo iguales en duración y contenidos, tendrían un efecto nivelador entre los dos grupos de la investigación. En efecto, a pesar de las diferencias iniciales, en esas circunstancias el aprendizaje puede ser óptimo y alcanzar cotas máximas, independientemente del estado de conocimiento en el punto de partida.

Pues bien, tras el análisis de los datos obtenidos a través de las calificaciones de los alumnos en el Ejercicio Práctico Pre-test, realizado por toda la muestra, se confirma la hipótesis de nivelación tras las sesiones de trabajo en aula (ver fig.20). La media de la calificación en el ejercicio en el grupo de control ha sido de 5,09 (sobre 10), nota muy similar a la obtenida por el grupo experimental, ligeramente superior, que ha sido de 5,76. Además, el aprendizaje ha sido bastante uniforme entre e intra grupos, ya que el valor de las desviaciones típicas es pequeño y prácticamente igual en ambos (1,42 en el grupo de control frente a 1,47 en el experimental).

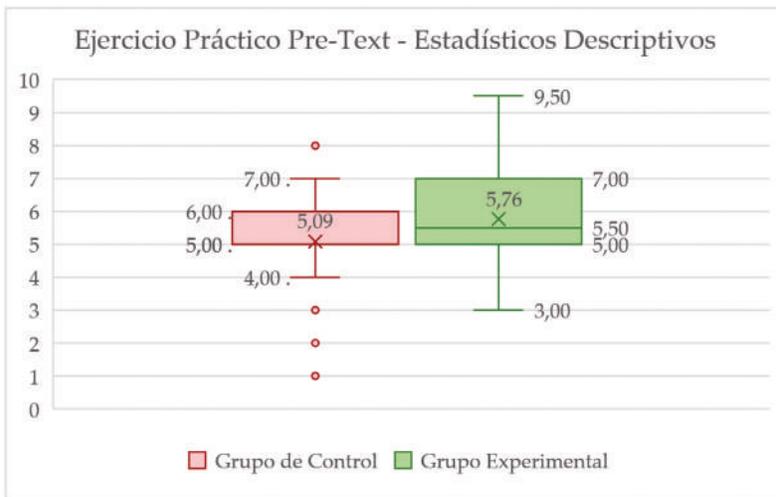


Figura 20. Ejercicio Práctico Pre-test- Estadísticos descriptivos.

3.1.3 Cuestionario de Conocimiento Post-test

Es necesario remarcar que el cuestionario pre-test ha sido utilizado para determinar la existencia inicial, previa a la investigación, de diferencias significativas entre el grupo experimental y el de control. Éste y el cuestionario post-test no han sido diseñados específicamente para evaluar la influencia del uso de la App en la adquisición de habilidades en Dibujo de Conjuntos por parte de los estu-

diantes, ya que las cuestiones planteadas son genéricas y no están centradas, en general, en evaluar las competencias que el diseño de la App pretende desarrollar y potenciar.

El cuestionario post-test refleja la situación inmediatamente posterior al experimento (ver figura 21), y está formado por las mismas preguntas que el pasado a los alumnos al inicio de la actividad, sólo que se ha variado el orden de las preguntas y, también, el de las respuestas posibles. Aunque no puede ser utilizado para valorar la influencia de la aplicación, sí que puede sugerir una tendencia. Si se ha producido un mayor grado de mejora en el grupo experimental, ésta será debida, fundamentalmente, a la acción del uso de la App, que es el único hecho diferencial entre los dos grupos.

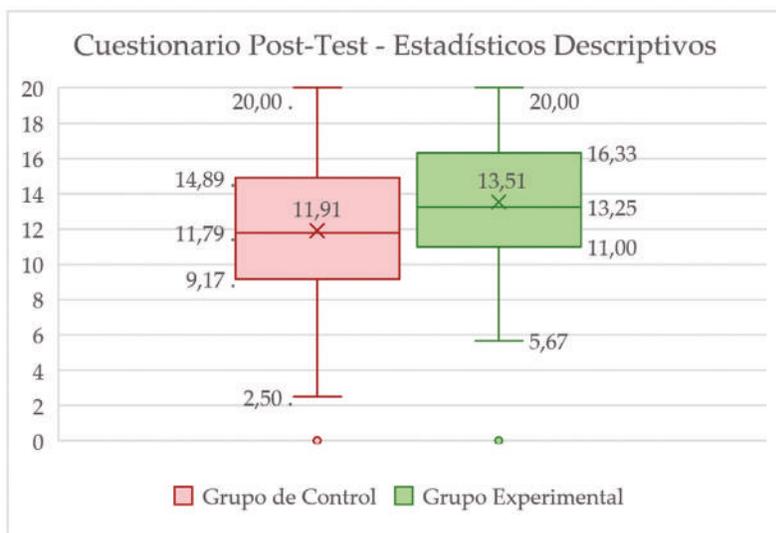


Figura 21. Cuestionario Post-test- Estadísticos descriptivos

De la comparación de los resultados de los cuestionarios de conocimientos pre y post-test, se puede afirmar que la mejora en las puntuaciones ha sido notable en ambos grupos, lo que indica que el trabajo personal del alumno en la construcción del conocimiento, sumada a la labor docente desarrollada por el profesor en el aula y el apoyo complementario en tutorías, ha servido como motor del aprendizaje de la materia. La mejora en la puntuación media ha sido de 3,18 puntos (sobre 20) en el grupo de control, mientras que la producida en el grupo experimental ha sido de 1,48. Este resultado es lógico porque, como ya se ha indicado, la labor docente y el estudio actúan como factores niveladores en el grado de conocimiento. Sin embargo, las diferencias en la medida de la dispersión pueden ser indicativas de la influencia de la App, que puede haber actuado como factor de uniformidad. La desviación típica en el grupo experimental se ha mantenido más o menos constante (3,75 en el pre-test y 3,74 en el post-test) lo que indica que el

aprendizaje ha sido más uniforme entre los estudiantes. Sin embargo, en el grupo de control la desviación típica ha aumentado (de 2,96 a 4,01), lo que implica que unos alumnos han mejorado apreciablemente sus resultados, mientras que en otros, la mejoría ha sido más tenue.

Con respecto al Ejercicio Práctico Pre-test, como se puede comprobar, tras el análisis de las medidas de estadística descriptiva, y tras poner los valores en la misma escala (20), ha habido una mejora en ambos grupos, de 1,73 puntos en el grupo de control y de 1,99 en el experimental. Si bien esta mejora puede ser imputada al trabajo personal de los alumnos en ambos grupos, mediante el estudio y la práctica, el mayor rendimiento en el grupo experimental sugiere que el uso de la App ha tenido una influencia positiva en la mejora.

La figura 22 describe la secuencia temporal de la evolución de las medias en tres momentos clave de la investigación: Estado inicial, previo a cualquier intervención (Q-Pre), Estado después de la intervención de la labor docente (Ej-Pre) y, finalmente, Estado después de llevarse a efecto el experimento (Q-Post). Se puede apreciar que antes de ninguna acción de aprendizaje, la diferencia de nivel entre los grupos es de 3,30 puntos. Al acabar las sesiones de aprendizaje con el profesor, momento en el que los alumnos tenían que resolver el ejercicio práctico pre-test, la diferencia se había reducido hasta 1,34 puntos (un 59,39%). Con la situación en este estado, se realizó el experimento y se pasó a los alumnos el cuestionario post-test. En este caso, se apreció que la diferencia volvió a aumentar hasta alcanzar los 1,60 puntos, sugiriendo una contribución de la App al aprendizaje de la materia.

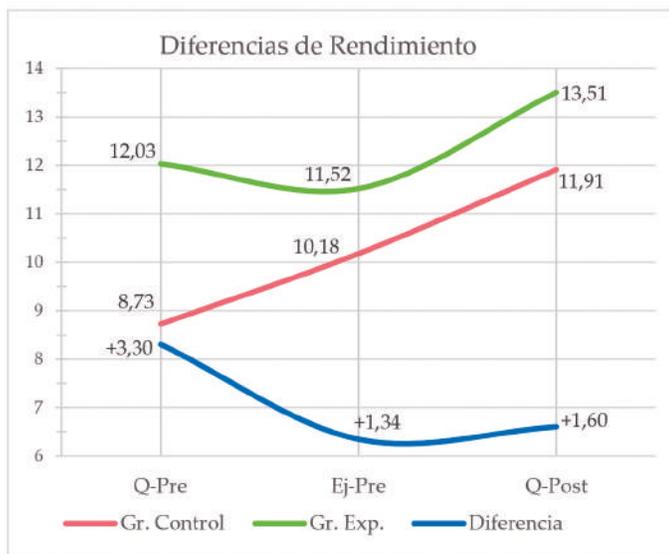


Figura 22. Evolución de las diferencias de rendimiento en los grupos en distintas etapas de la investigación

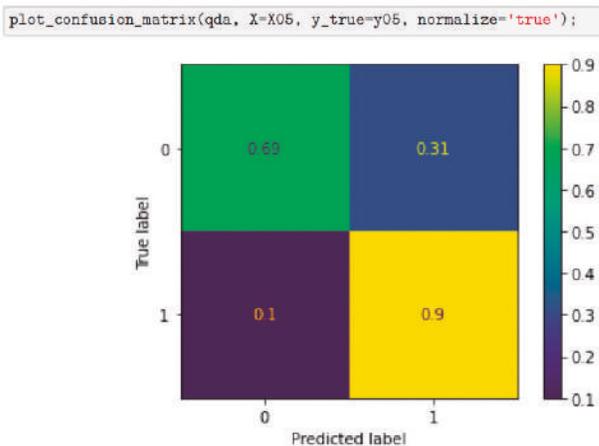
3.1.4 Ejercicios Prácticos Post-test y Ejercicio de Examen

Estos tres ejercicios constituyen los instrumentos fundamentales que se han utilizado para verificar si el uso de la App ARPAID ha supuesto una influencia positiva en el grupo experimental y ha contribuido al aprendizaje significativo y profundo de la representación normalizada de conjuntos mecánicos. Los ejercicios constituyen una aplicación directa de las competencias adquiridas durante el aprendizaje de la materia. Su calificación, por tanto, constituye una medición objetiva del grado de conocimiento y de las habilidades adquiridas por el estudiante, siempre que los criterios utilizados sean adecuados, centrados en los conceptos esenciales y dejando de lado otros aspectos que, si bien son importantes, son transversales a otras temáticas de la asignatura.

Para realizar el análisis de los datos, se han aplicado tres Clasificadores de Aprendizaje Supervisado [53] a las calificaciones obtenidas por los estudiantes en estos tres ejercicios: el Análisis Discriminante Lineal (LDA), el Análisis Discriminante Cuadrático (QDA) y una Máquina de Vectores de Soporte (SVC). El objetivo perseguido consiste en clasificar a cada alumno de la muestra en una clase, dependiendo si ha utilizado (clase 1) o no (clase 0) la App ARPAID. La asignación de clase se realiza atendiendo a las notas obtenidas por el estudiante en los tres ejercicios evaluados, después de ejecutar el entrenamiento del clasificador con los datos proporcionados.

En cada uno de los análisis se ha representado gráficamente, mediante mapas de calor, la Matriz de Confusión, a partir de la cual, se han obtenido los indicadores que permiten evaluar la calidad de la clasificación: el valor de la Precisión y el de la Sensibilidad (Tasa de Verdaderos Positivos - Recall).

La figura 23 (a) muestra la matriz de confusión del QDA y la 23 (b) la de la SVC. Se ha prescindido de mostrar los resultados del Análisis Discriminante Lineal, ya que los resultados clasificatorios son ligeramente inferiores a los alcanzados por los otros dos clasificadores.



(a)

```
plot_confusion_matrix(svc, X=X05, y_true=y05, normalize='true');
```

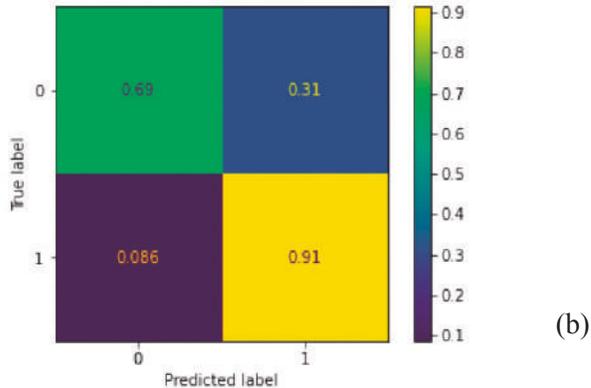


Figura 23. (a) Matriz de confusión del Análisis Discriminante Cuadrático y (b) de la Máquina de Vectores de Soporte aplicados sobre las calificaciones de los ejercicios prácticos y del examen (datos normalizados)

En el análisis QDA, se aprecia que el clasificador acierta en un 90% en el caso de verdaderos positivos, es decir, cuando una terna de valores de los ejercicios produce una predicción de que el estudiante ha utilizado la App, la probabilidad de acierto es del 90%. La probabilidad de falsos negativos es del 10%. La probabilidad de acierto en los verdaderos negativos desciende un poco, hasta un 68,75% y la de los falsos positivos es del 31,25%.

El análisis SVC produce los mejores resultados en la clasificación. Se aprecia que el clasificador acierta en un 91,4% en el caso de verdaderos positivos, al tiempo que la probabilidad de falsos negativos es del 8,6%. La probabilidad de acierto en los verdaderos negativos desciende hasta un 69% y la de los falsos positivos es del 31%.

Entre los indicadores de calidad de la clasificación calculados, la precisión y la sensibilidad, reportan muy buenos resultados en los dos análisis referenciados. La precisión, cociente entre los verdaderos positivos y la suma de estos y los falsos positivos, es de 0,86, tanto en el QDA como en el SVC. Los resultados de la sensibilidad, número de verdaderos positivos respecto del total de resultados positivos, son ligeramente mejores, 0,9 en el QDA y 0,91 en el SVC. La figura 24 muestra los valores de los indicadores de calidad de la clasificación más frecuentes.

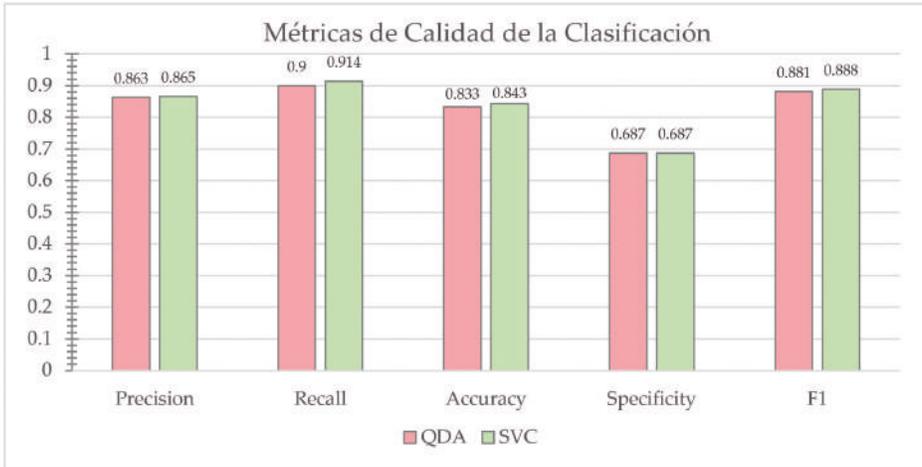


Figura 24. Índices de calidad de la clasificación

En general, se aprecia, sobre todo con la Máquina de Vectores de Soporte (SVC), que proporciona los mejores valores, que existe estructura suficiente que justifica la validez de la clasificación de la muestra. Es decir, los datos obtenidos apoyan que existen dos subpoblaciones o clases: una, constituida por aquellos alumnos que han utilizado la App ARPAID y la otra formada por los estudiantes que no la han usado. Estas dos clases pueden ser separadas de acuerdo con las calificaciones obtenidas en los tres ejercicios analizados. *Es decir, el uso de la App ARPAID tiene influencia sobre las notas obtenidas por los estudiantes, lo cual confirma el objetivo de la investigación.*

En la figura 25 se representan sendos histogramas donde se aprecia, a pesar de algún solapamiento, la separación de las clases y donde se ven mejores resultados, con menos varianza, en los individuos de la clase 1, es decir, los que han utilizado la App.

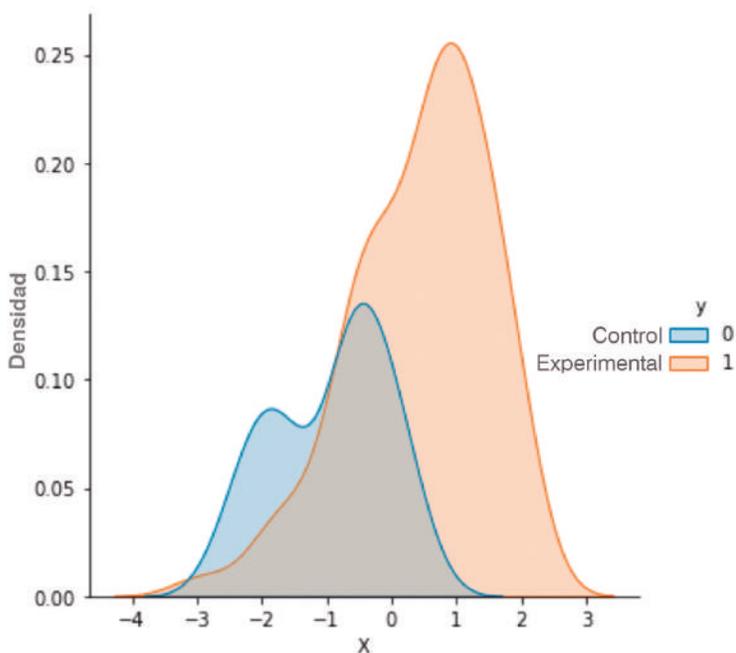


Figura 25. Histogramas de separación de clases: Clase 1: Grupo Experimental.
Clase 0: Grupo de Control

En cuanto a la importancia porcentual de cada uno de los ejercicios en la capacidad de discriminación del clasificador, se observa que el ejercicio que mejor distingue qué alumno ha utilizado la App o no, es el ejercicio de examen con un valor de importancia del 60%. El segundo es el Ejercicio Práctico 2 Post-test, el conjunto del cáncamo, con una importancia del 38%, y, por último, el conjunto Portaherramientas, el Ejercicio Práctico 1 Post-test, valorado con una importancia del 2%.

Según estos datos, parece que el conjunto Portaherramientas es irrelevante en el proceso clasificatorio, lo que indica que lo realizan igual los alumnos que han usado la App que los que no la han utilizado. La explicación de este resultado puede estar relacionada con que este conjunto es el único que los estudiantes tienen que realizar con un programa de Diseño Asistido por Ordenador, el Autocad, y, al no ser realizado en el laboratorio de informática, sino en su domicilio, es posible que muchos estudiantes hayan optado por trabajar basándose en el archivo proporcionado por un compañero. Tras una comprobación preliminar, se han detectado varios ficheros derivados de un mismo original, lo que parece confirmar nuestra sospecha.

Muchos estudiantes del grupo de control no realizaron todos los trabajos propuestos, lo que parece indicar una dificultad y falta de confianza a la hora de enfrentarse a la resolución de los ejercicios. Por el contrario, en los alumnos del grupo experimental no se ha producido esta circunstancia.

Una vez que se ha determinado que la utilización de la App ARPAID tiene una influencia en el aprendizaje de la representación de conjuntos mecánicos, es necesario establecer el sentido de dicha influencia, es decir, ¿influye positiva o negativamente? La respuesta resulta obvia cuando se observan las medias de las calificaciones obtenidas en los tres instrumentos utilizados tras la realización del experimento, las cuales son siempre superiores en el grupo experimental, tal y como queda reflejado en la figura 26.

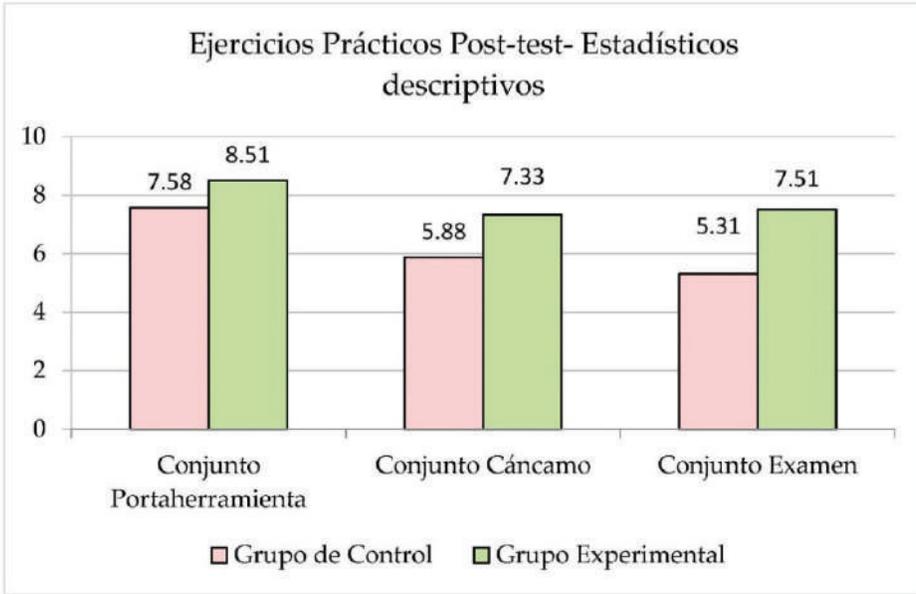


Figura 26. Estadísticos descriptivos de Ejercicios Prácticos Post-test y Examen

El hecho de que el ejercicio de examen presente un 60% de influencia en la clasificación sugiere que el uso de la App puede tener un efecto positivo, no sólo para la comprensión de los mecanismos modelados, sino que este beneficio puede generalizarse a cualquier otro ensamblaje. Es decir, los resultados sugieren que la App influye en un aprendizaje significativo de la materia estudiada y en la adquisición de competencias en la representación de conjuntos. En una fase posterior del desarrollo de la App y de la investigación será necesario plantear el estudio de este aspecto.

4. Conclusiones

Este artículo describe la evaluación de una Aplicación móvil, denominada ARPAID, con funciones de Realidad Aumentada, para el aprendizaje de la representación de conjuntos mecánicos en ingeniería. Una herramienta nueva e interesante como complemento a los procesos de aprendizaje. Es una herramienta acce-

sible y portátil para ayudar a los estudiantes a comprender la parte de ensamblajes de la asignatura de Expresión Gráfica de nivel universitario.

Los resultados muestran que se ha producido una mejora significativa en el rendimiento en el grupo experimental de la muestra de estudio, el cual ha usado la aplicación.

El aumento en el rendimiento del grupo experimental no se ha producido exclusivamente en los conjuntos de ejemplo incluidos en la aplicación móvil, sino que ha sucedido, igualmente, con otros ensamblajes suministrados a los alumnos. Este hecho permite suponer que la mejoría puede ser extrapolable o generalizada a cualquier ejercicio.

La aplicación ARPAID ha sido acogida muy favorablemente por los estudiantes. Han manifestado que les ha resultado muy útil para afrontar el estudio de la materia y les ha facilitado la comprensión de los conceptos esenciales. Además, el hecho de disponer de un material novedoso, muy intuitivo en su manejo y con un enfoque poco tradicional, ha contribuido a que la motivación para el estudio de esa parte de la asignatura haya sido muy elevada. Cabe reseñar que, durante el periodo de realización de la experiencia, la media de accesos por estudiante, con inicio de sesión, ha sido de 7,38 con un máximo de 28 usos. Esto demuestra la buena aceptación que ha tenido entre el alumnado que, en algunos casos, ha continuado usándola varios meses después de la finalización del curso académico.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que el uso de la aplicación es un método complementario a los métodos tradicionales que motiva y ayuda a los estudiantes en su proceso de aprendizaje.

Los buenos resultados preliminares de la investigación han supuesto, para al equipo de trabajo, un aliciente para afrontar las siguientes fases de desarrollo con energías y motivación renovadas.

5. Limitaciones del estudio

Un problema importante en la investigación ha sido la imposibilidad de ensayar las capacidades síncronas de la aplicación móvil durante el desarrollo de las sesiones de aprendizaje en el aula, debido al confinamiento domiciliario provocado por la Covid-19. En efecto, la explicación y tareas en el aula, que estaban programadas para la segunda quincena del mes de marzo y el mes de abril de 2020, tuvieron que ser suspendidas.

Otra dificultad surgida durante la implementación de la aplicación ha sido su despliegue en los dispositivos basados en sistema operativo IOS. Las directrices de desarrollo del portal del desarrollador para añadir una app al Apple Store, en conflicto con las necesidades de privacidad y seguridad en los datos recopilados durante el uso, han impedido su carga en la tienda oficial, en el momento de realización de la experiencia. Afortunadamente, ha sido posible probar una versión completamente funcional utilizando la App *TestFlight* para el test de versiones beta.

Los requerimientos tecnológicos para un uso extensivo de las características de realidad aumentada de los dispositivos móviles suponen un hándicap importante, dado que no todos los alumnos tienen posibilidad de acceso a teléfonos de gama alta. Es necesario, por tanto, un compromiso entre las características disponibles en ARPAID y las capacidades tecnológicas de los dispositivos móviles para que la tecnología no se convierta en una barrera discriminatoria para la adquisición de conocimiento.

6. Líneas de investigación futuras

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores del artículo, la investigación se ha diseñado para ser desarrollada en tres fases, habiéndose completado hasta este momento, únicamente, la primera de ellas. Las líneas que van a ser desarrolladas a partir de ahora son las siguientes:

- Fase II: Evaluación de la usabilidad, interfaz de usuario y funcionamiento de la App. Incorporación de nuevas funcionalidades. Inclusión de mecanismos de evaluación sigilosa (stealth assessment).
- Fase III: Externalización con Assets Bundles y creación de un repositorio remoto de recursos disponibles.

Una línea de investigación que se cree prometedora y que, de hecho, ya está siendo implementada, consiste en automatizar, en lo posible, la inclusión de nuevos conjuntos en el sistema, independientemente de su complejidad (tanto en número de piezas, como en la estructura jerárquica en subconjuntos), reduciendo la intervención humana a la mínima expresión.

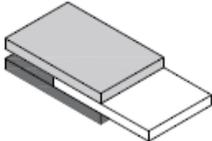
Otra posible línea de trabajo sería profundizar en el estudio de los aspectos motivacionales y sociales, favorecedores del ambiente en el que se desarrolle el aprendizaje, valorando la inclusión de alguna faceta relacionada con los serious games y gamificación.

Apéndice A

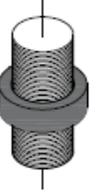
Las figuras A1 (a) (b) (c) (d) contienen los 20 ítems que conforman los cuestionarios pre-test y post-test pasados a los estudiantes para estudiar las diferencias iniciales entre los grupos experimental y de control.

1	<p>El plano donde se muestran las piezas de las que se compone un mecanismo así como la posición relativa existente entre ellas se denomina</p> <p>A.- Dibujo de despiece B.- Dibujo de mecanismo C.- Dibujo de conjunto D.- Dibujo de posición</p>
2	<p>En un plano de conjunto...</p> <p>A.- Se incluyen todas las cotas B.- No se acota C.- Se incluyen las cotas de montaje D.- Ninguna de las anteriores</p>
3	<p>En un plano de conjunto los elementos normalizados...</p> <p>A.- No se seccionan nunca B.- Se seccionan pero no se rayan C.- Se seccionan si el corte es longitudinal D.- Se seccionan si el corte es transversal</p>
4	<p>En un plano de conjunto en la representación simplificada de roscas, cuando se produce coincidencia especial.</p> <p>A.- Prevalecen las roscas exteriores sobre las interiores B.- No se representan C.- Prevalecen las roscas interiores sobre las exteriores D.- Ninguna de las anteriores</p>
5	<p>Una marca de referencia es ...</p> <p>A.- Los diferentes elementos que componen un conjunto B.- Los diferentes elementos que componen un subconjunto C.- El número que identifica cada elemento de un conjunto D.- El número de piezas iguales repetidas</p>

(a)

6	Los elementos normalizados...
	<p>A.- No es necesario despiezarlos</p> <p>B.- Es necesario hacer su despiece</p> <p>C.- No llevan marca</p> <p>D.- No se acotan</p>
7	La lista de elementos... (indicar las respuestas correctas)
	<p>A.- El número de columnas puede ser variable</p> <p>B.- Se puede incluir en el dibujo o en un documento separado</p> <p>C.- Se ordena de arriba a abajo</p> <p>D.- Debe contener tantas filas como piezas tenga el conjunto</p>
8	En un Dibujo de Despiece...(indicar las respuestas in-correctas)
	<p>A.- Es necesario realizar las vistas y secciones necesarias</p> <p>B.- Se debe incluir toda la información dimensional</p> <p>C.- No es necesario indicar los tratamientos superficiales</p> <p>D.- Se deben añadir a la lista de elementos</p>
9	En el mecanismo de la figura indicar los grados de libertad de la pieza central:
	<p>Traslación: Eje X Eje Y Eje Z</p> <p>Rotación: Eje X Eje Y Eje Z</p>
10	En el mecanismo de la figura indicar sus grados de libertad de la pieza central:
	<p>Traslación: Eje X Eje Y Eje Z</p> <p>Rotación: Eje X Eje Y Eje Z</p>

(b)

11	En el mecanismo de la figura indicar los grados de libertad de la pieza central:
	<p>Traslación: Eje X Eje Y Eje Z</p> <p>Rotación: Eje X Eje Y Eje Z</p>
12	En el mecanismo de la figura indicar los grados de libertad de la pieza central:
	<p>Traslación: Eje X Eje Y Eje Z</p> <p>Rotación: Eje X Eje Y Eje Z</p>
13	En el mecanismo de la figura indicar los grados de libertad de la pieza central:
	<p>Traslación: Eje X Eje Y Eje Z</p> <p>Rotación: Eje X Eje Y Eje Z</p>
14	Los tipos de Tolerancia en una pieza pueden ser...
	<p>A.- Posicional y de Giro</p> <p>B.- Dimensional y Geométrica</p> <p>C.- Dimensional y Posicional</p> <p>D.- Posicional y de Forma</p>
15	Decimos que la dimensión de un elemento geométrico de forma perfecta, tal y como se define en la especificación del dibujo es...
	<p>A.- Dimensión real o efectiva</p> <p>B.- Dimensión específica</p> <p>C.- Dimensión nominal</p> <p>D.- Dimensión geométrica</p>

(c)

16	Las calidades de las tolerancias se denominan con el prefijo internacional...
	<p>A.- IT</p> <p>B.- TO</p> <p>C.- TI</p> <p>D.- OT</p>
17	Se define Ajuste entre dos piezas que acoplan a...
	<p>A.- La diferencia entre las dimensiones nominales que se relacionan</p> <p>B.- La diferencia entre las desviaciones que se relacionan</p> <p>C.- La diferencia entre las dimensiones efectivas o reales que se relacionan</p> <p>D.- La diferencia entre las tolerancias que se relacionan</p>
18	Las tolerancias en los dibujos se indican...
	<p>A.- En el cajetín</p> <p>B.- Al lado de las vistas de la pieza</p> <p>C.- En el plano de conjunto</p> <p>D.- En el cuadro de rotulación</p>
19	¿Qué significan esas siglas? EN-GJMW-400-05
	<p>A.- Norma Internacional</p> <p>B.- Material normalizado</p> <p>C.- Norma Europea</p> <p>D.- Denominación normalizada de una pieza comercial</p>
20	La tolerancia general de un mecanismo depende de:
	<p>A.- El rango de dimensiones de los despieces</p> <p>B.- El material utilizado</p> <p>C.- El taller y la maquinaria utilizada en el mecanizado</p> <p>D.- La pericia del fresador o tornero</p>

Figura A1. Cuestionario Pre-test y Post-test

(d)

Referencias

- [1] Del-Cerro-Velázquez, F.; Morales-Méndez, G. Realidad Aumentada como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en estudiantes de educación secundaria. *Rev. Educ. a Distancia* **2017**, N.º 54. <https://doi.org/10.6018/red/54/5>.
- [2] Horizon 2020 projects | Horizon 2020 <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-sections-projects> (accessed oct 21, 2020).
- [3] Suárez, J. P.; González, P. M.; Martín, G.; García, M. Expresión Gráfica: Pasado, presente y futuro en el Diseño en la Ingeniería <https://docplayer.es/53548935-Expresion-grafica-pasado-presente-y-futuro-en-el-diseno-en-la-ingenieria.html> (accessed oct 21, 2020).
- [4] Cabero-Almenara, J.; García Jiménez, F.; Barroso Osuna, J. La producción de objetos de aprendizaje en “Realidad Aumentada”: la experiencia del SAV de la Universidad de Sevilla. *IJERI Int. J. Educ. Res. Innov.* **2016**, N.º 6, 110-123.
- [5] Craig, A. B. *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*; Morgan Kaufmann: Waltham, 2013.
- [6] Azuma, R. T. *A survey of augmented reality*; MIT Press Journals, 1997; Vol. 6. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- [7] Akçayir, M.; Akçayir, G.; Pektaş, H. M.; Ocağ, M. A. Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Comput. Human Behav.* **2016**, *57*, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>.
- [8] Reuter, R.; Hauser, F.; Muckelbauer, D.; Stark, T.; Antoni, E.; Mottok, J.; Wolff, C. Using Augmented Reality in Software Engineering Education? First insights to a comparative study of 2D and AR UML modeling. *Proc. 52nd Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.* **2019**, *6*, 7798-7807. <https://doi.org/10.24251/hicss.2019.938>.
- [9] Chen, H.; Feng, K.; Mo, C.; Cheng, S.; Guo, Z.; Huang, Y. Application of augmented reality in engineering graphics education. En *ITME 2011 - Proceedings: 2011 IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education*; 2011; Vol. 2, pp 362-365. <https://doi.org/10.1109/ITiME.2011.6132125>.
- [10] Berkemeier, L.; Zobel, B.; Werning, S.; Ickerott, I.; Thomas, O. Engineering of Augmented Reality-Based Information Systems: Design and Implementation for Intralogistics Services. *Bus. Inf. Syst. Eng.* **2019**, *61* (1), 67-89. <https://doi.org/10.1007/s12599-019-00575-6>.
- [11] Salar, R.; Arici, F.; Caliklar, S.; Yilmaz, R. M. A Model for Augmented Reality Immersion Experiences of University Students Studying in Science Education. *J. Sci. Educ. Technol.* **2020**, *29* (2), 257-271. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09810-x>.
- [12] Fuchsová, M.; Adamková, M.; Lapšanská, M. P. Uses of Augmented Reality in Biology Education. En *Augmented Reality in Educational Settings*; Brill | Sense, 2019; pp 168-194. https://doi.org/10.1163/9789004408845_008.
- [13] Ma, M.; Fallavollita, P.; Seelbach, I.; Von Der Heide, A. M.; Euler, E.; Waschke, J.; Navab, N. Personalized augmented reality for anatomy education. *Clin. Anat.* **2016**, *29* (4), 446-453. <https://doi.org/10.1002/ca.22675>.

[14] Carlson, K. J.; Gagnon, D. J. Augmented Reality Integrated Simulation Education in Health Care. *Clin. Simul. Nurs.* **2016**, *12* (4), 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2015.12.005>.

[15] Cascales-Martínez, A.; Martínez-Segura, M. J.; Pérez-López, D.; Contero, M. Using an augmented reality enhanced tabletop system to promote learning of mathematics: A case study with students with special educational needs. *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.* **2017**, *13* (2), 355-380. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00621a>.

[16] Lin, H. C. K.; Chen, M. C.; Chang, C. K. Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interact. Learn. Environ.* **2015**, *23* (6), 799-810. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.817435>.

[17] Salmi, H.; Thuneberg, H.; Vainikainen, M.-P. Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *Int. J. Sci. Educ. Part B* **2017**, *7* (3), 253-268. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1254358>.

[18] Shen, L. C.; Wu, T. T.; Hsu, W. C. The Application of Augmented Reality to the Education of Chemistry – Take the Course of Nature Science in Junior High School as an Example. En *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*; Springer, 2019; Vol. 11937 LNCS, pp 41-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35343-8_5.

[19] Bursztyn, N.; Shelton, B.; Walker, A.; Pederson, J. Increasing undergraduate interest to learn geoscience with GPS-based augmented reality field trips on students' own smartphones. *GSA Today* **2017**, *27* (6), 4-10. <https://doi.org/10.1130/GSATG304A.1>.

[20] Chen, C. ping; Wang, C. H. Employing augmented-reality-embedded instruction to disperse the imparities of individual differences in earth science learning. *J. Sci. Educ. Technol.* **2015**, *24* (6), 835-847. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9567-3>.

[21] Squires, D. R. Instructional Designs and Educational Technologies Within Augmented Reality Transmedia Storytelling: IDET ARTS; Springer, Cham, 2019; pp 121-128. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27986-8_11.

[22] Buhl, M. Students and Teachers as Developers of Visual Learning Designs With Augmented Reality for Visual Arts Education. En *PROCEEDINGS OF THE 16TH EUROPEAN CONFERENCE ON E-LEARNING (ECEL 2017)*; Mesquita, A., Peres, P., Eds.; Porto, 2017; pp 94-100.

[23] Huang, Y.; Li, H.; Fong, R. Using Augmented Reality in early art education: a case study in Hong Kong kindergarten. *Early Child Dev. Care* **2016**, *186* (6), 879-894. <https://doi.org/10.1080/03004430.2015.1067888>.

[24] Bower, M.; Howe, C.; McCredie, N.; Robinson, A.; Grover, D. Augmented Reality in education - cases, places and potentials. *Educational Media International*. Routledge 2014, pp 1-15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>.

[25] Trujillo Flórez, L. M. *Teorías pedagógicas contemporáneas*, 1.^a ed.; Fondo Editorial Areandino: Bogotá, 2017.

[26] Ackermann, E. Piaget's constructivism, Papert's constructionism: What's the difference. *Futur. Learn. Gr. Publ.* **2001**, *5* (3), 438.

[27] Fosnot, C. T.; Perry, R. S. Constructivism: A Psychological Theory of Learning.

En *Constructivism: Theory, Perspectives and Practice*; Fosnot, C. T., Ed.; Teacher College Press: New York; London, 2005.

[28] Mevarech, Z. R.; Kramarski, B. Vygotsky and Papert: social cognitive interactions within Logo environments. *Br. J. Educ. Psychol.* **1993**, *63* (1), 96-109. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1993.tb01044.x>.

[29] Papert, S. Situating Constructionism. En *Constructionism*; Harel, I., Papert, S., Eds.; Ablex Publishing Corporation: Norwood, 1991.

[30] Papert, S. *La máquina de los niños. Replantearse la educación en la era de los ordenadores*, 1.ª ed.; Paidós: Barcelona, 1995.

[31] Resnick, M. *Lifelong Kindergarten: cultivating creativity through projects, passion, peers and play*, 1.ª ed.; The MIT Press: Cambridge, MA, 2017.

[32] Chen, K.-W.; Hsu, F.-C.; Hsieh, Y.-Z.; Chou, C.-H. To Design an Interactive Learning System for Child by Integrating Blocks with Kinect. *2014 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.* 20-22.

[33] Klarić, Š.; Hadžiahmetović, H.; Novoselović, D.; Havrišan, S. Implementation and comparative analysis of mobile phone application for learning and teaching in mechanical engineering education. *Teh. Vjesn.* **2019**, *26* (4), 1176-1181. <https://doi.org/10.17559/TV-20180920024253>.

[34] Kannapiran, S.; Kob, C. G. C.; Rus, R. C.; Shah, A.; Dewi, N. R. Development of mobile application upon mechanical engineering students' learning styles. *J. Phys. Conf. Ser.* **2020**, *1567* (4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042071>.

[35] Al-Khanjari, Z.; Al-Kindi, Z.; Al-Kindi, E.; Kraiem, N. Developing educational mobile application architecture using SOA. *Int. J. Multimed. Ubiquitous Eng.* **2015**, *10* (9), 247-254. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2015.10.9.25>.

[36] Ghayyur, S. A. K.; Awan, D.; Sikander Hayat Khiyal, M. A Case of Engineering Quality for Mobile Healthcare Applications Using Augmented Personal Software Process Improvement. *Mob. Inf. Syst.* **2016**, *2016*. <https://doi.org/10.1155/2016/3091280>.

[37] Clark, R. C.; Nguyen, F.; Sweller, J. *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load* Clark, Frank Nguyen; Pfeifer: San Francisco, CA, 2006.

[38] Meier, R. *Professional Android 4 Application Development*; Wiley: Indianapolis, 2012.

[39] Wohlgenannt, I.; Fromm, J.; Stieglitz, S.; Radianti, J.; Majchrzak, T. A. Virtual Reality in Higher Education: Preliminary Results from a Design-Science-Research Project. *Int. Conf. Inf. Syst. Dev.* **2019**.

[40] Radianti, J.; Majchrzak, T. A.; Fromm, J.; Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Comput. Educ.* **2020**, *147* (July 2019), 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.

[41] Plataforma de desarrollo en tiempo real de Unity | Motor de VR y AR en 3D y 2D <https://unity.com/es> (accessed oct 21, 2020).

[42] Marco de trabajo AR Foundation de Unity | Software de realidad aumentada para desarrollo multiplataforma | Unity <https://unity.com/es/unity/features/arfoundation> (accessed oct 21, 2020).

[43] Li, X.; You, Y. Kano model analysis required in APP interactive design based on mobile user experience. *Int. J. Multimed. Ubiquitous Eng.* **2016**, *11* (11), 247-258. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2016.11.11.21>.

[44] Alomari, H. W.; Ramasamy, V.; Kiper, J. D.; Potvin, G. A User Interface (UI) and User eXperience (UX) evaluation framework for cyberlearning environments in computer science and software engineering education. *Heliyon* **2020**, *6* (5), e03917. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03917>.

[45] Design Engineering | CATIA – Dassault Systèmes <https://www.3ds.com/products-services/catia/> (accessed oct 21, 2020).

[46] Zhang, J.; Kamioka, E.; Tan, P. X. Emotions detection of user experience (Ux) for mobile augmented reality (mar) applications. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.* **2019**, *8* (1.4 S1), 63-67. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/1081.42019>.

[47] 3ds Max | 3D Modeling, Animation & Rendering Software | Autodesk <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview> (accessed oct 21, 2020).

[48] GIMP - GNU Image Manipulation Program <https://www.gimp.org/> (accessed oct 21, 2020).

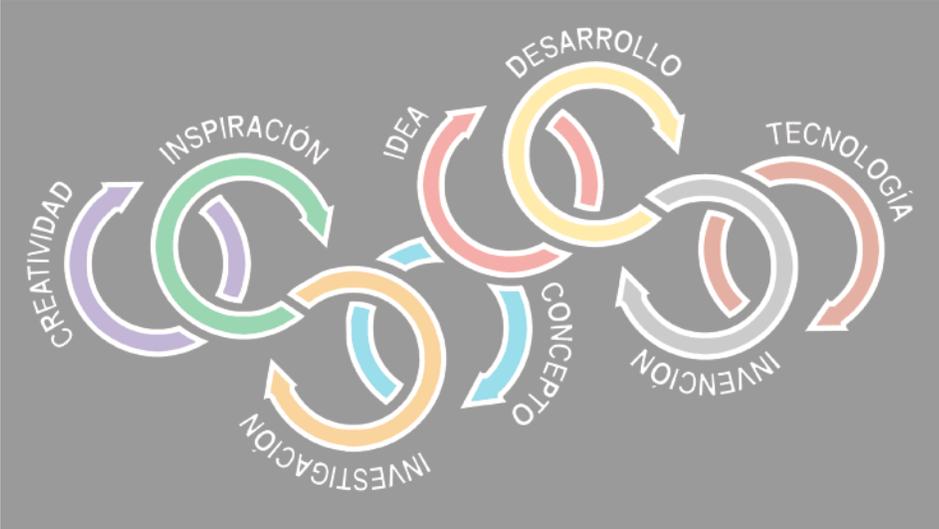
[49] Software de gráficos vectoriales | Adobe Illustrator <https://www.adobe.com/es/products/illustrator.html> (accessed oct 21, 2020).

[50] Hussain, A.; Mkpojiogu, E. O. C.; Ishak, N.; Mokhtar, N. A study on the perceived mobile experience of myeg users. *Int. J. Interact. Mob. Technol.* **2019**, *13* (11), 4-23. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i11.11306>.

[51] AutoCAD for Mac & Windows | 2D/3D CAD Software | Autodesk <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview> (accessed oct 21, 2020).

[52] Pérez Juste, R.; Galán González, A.; Quintanal Díaz, J. *Métodos y diseños de investigación en educación*; Universidad Nacional de Educación a Distancia, U., Ed.; Madrid, 2012.

[53] Faul, A. C. *A Concise Introduction to Machine Learning*; Taylor And Francis: Boca Ratón FL, 2020.





Recoge el Accésit el Profesor Manuel Domínguez González

ACCÉSIT

Demostradores para la formación en digitalización de la industria

Coordinador:

Manuel Domínguez González
Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática
manuel.dominguez@unileon.es

Participantes:

Juan José Fuertes Martínez
jj.fuertes@unileon.es
Miguel Ángel Prada Medrano
ma.prada@unileon.es
Serafin Alonso Castro
saloc@unileon.es
Antonio Morán Álvarez
a.moran@unileon.es
Daniel Pérez López
dperl@unileon.es
José Ramón Rodríguez Ossorio
jrodro@unileon.es
Raúl González Herbón
rgonzh@unileon.es
Guzmán González Mateos
ggonzm@unileon.es
Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática

1. Justificación

Los procesos de digitalización en la industria son actualmente un enorme reto dentro de la Unión Europea (Horizonte Europa, Cluster 4:15) que implica continuos cambios no solo en las tecnologías industriales que se utilizan: automatización, control, robótica, Internet de las cosas (IoT), Big Data, gemelo digital (Digital Twin), realidad virtual y/o aumentada o ciberseguridad, sino que también en los procesos de aprendizaje, tanto para estudiantes como para trabajadores. Solo aquellas empresas capaces de adaptarse y con trabajadores cualificados serán competitivas. Por ello, es necesario diseñar nuevos entornos de formación que permitan el aprendizaje y la experimentación. En este proyecto de innovación docente, proponemos un conjunto de pautas para desarrollar demostradores para la formación en la denominada industria conectada o Industria 4.0. Siguiendo estas líneas, se han desarrollado dos demostradores, uno en el año 2019 y otro en el 2020, que han permitido a los estudiantes trabajar con estas tecnologías habilitadoras de manera práctica e integrada. De esta manera pueden, no solo capacitarse en cada tecnología, sino también comprender las interacciones entre ellas. La experiencia es innovadora porque trabaja con algunas de las tendencias actuales en la formación de carácter tecnológico: realidad virtual y aumentada, IoT, automatización, Big Data, ciberseguridad, etc.

El proyecto consiste en la actualización de los entornos educativos existentes para adaptarlos a los requerimientos técnicos y relativos necesarios para la digitalización en la industria, dentro del nuevo paradigma conocido como Industria 4.0. Este nuevo paradigma plantea la existencia de una serie de tecnologías que se deben implementar en un entorno de Industria 4.0, que son las representadas en la siguiente figura:

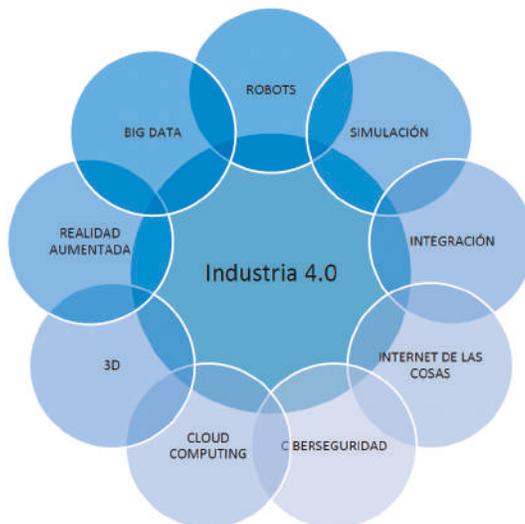


Figura 1-1. Tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0

2. Descripción de la experiencia y objetivos

El Grupo de Investigación SUPPRESS (<https://suppress.unileon.es/>) de la Universidad de León viene trabajando desde hace varios años en una línea de investigación sobre laboratorios remotos para la formación y experimentación en automática, lo cual ha permitido el desarrollo de diferente equipamiento industrial (<https://lra.unileon.es>). En el ámbito de Industria 4.0, se han desarrollado dos demostradores: el primero de ellos toma como punto de partida una maqueta industrial de procesos en la que se manejan variables para el control de nivel, caudal, presión y temperatura (patente ULE: ES1076818Y), mientras que en el segundo se basa en una célula electroneumática robotizada para la clasificación de piezas (patente ULE: P201331249). Ambos son entornos de aprendizaje práctico e integral que permiten la formación presencial y remota en tecnologías para la digitalización de la industria. Los objetivos definidos en esta experiencia fueron los siguientes:

1. Definir una arquitectura representativa de la Industria 4.0 en los demostradores que incorpore tecnologías y características novedosas tales como: conectividad basada en estándares, almacenamiento y procesamiento en la nube, Big Data, realidad virtual y aumentada, gemelo digital (Digital Twin) y ciberseguridad.
2. Proponer entornos de aprendizaje realistas para la formación en Industria 4.0. Los entornos deben ser diseñados como réplicas de procesos industriales, para proporcionar a los estudiantes el punto de vista de la realidad industrial.
3. Plantear a los alumnos tareas prácticas realistas, vinculadas al funcionamiento de diferentes tecnologías habilitadoras, sin perder de vista la perspectiva de todo el sistema. En el moodle de la asignatura se deben incluir recursos (documentos, videos, simulaciones, etc.) con explicaciones exhaustivas del entorno de aprendizaje, las tecnologías habilitadoras y las diferentes actividades que llevará a cabo por el estudiante.
4. Evaluar la eficacia de la experiencia y las mejoras que se consiguen en el aula evaluando empíricamente la mejora de aprendizaje, motivación, participación, etc. Evaluar igualmente, para los docentes implicados, la eficiencia de la experiencia, analizando si se mejoran los resultados con el mismo esfuerzo que antes de la innovación.
5. Perseguir la sostenibilidad de la innovación, comenzando la experiencia con los alumnos en el curso 2019/2020 y manteniendo la innovación en el curso 2020/2021, intentando lograr la consolidación en los años siguientes. Se debe considerar los comentarios de mejora por parte de los alumnos de la experiencia inicial.
6. Compartir la experiencia con la comunidad universitaria, presentando los avances en congresos nacionales o internacionales. Escribir los resultados finales en revistas de impacto (JCR) para que un amplio número de lectores

conozca las pautas a seguir para implementar este tipo de demostradores y puedan replicar las actividades realizadas.

3. Metodología o procedimiento seguido

Este proyecto empieza en el año 2019, en el que el grupo SUPPRESS se presenta y gana el Premio SIEMENS: “Automatización y Digitalización. Industria 4.0”, convocado a través del Comité Español de Automática.

El proyecto recibe una dotación en equipamiento tecnológico de última generación que se instala en la Universidad de León. Con dicha dotación se desarrolló, a lo largo del año 2019, el primer demostrador de Industria 4.0 que se incorporó a los laboratorios del grupo de investigación. En septiembre del mismo año, el proyecto es presentado en las XL Jornadas de Automática. A lo largo del curso académico 2019/2020, se utilizó este demostrador con 20 alumnos de la asignatura Automatización y Control de Procesos del Máster en Producción en Industria Farmacéutica en la Escuela de Ingenierías de la Universidad de León.

Posteriormente, ese mismo año, se comenzó el desarrollo de un segundo demostrador que ampliaba las funcionalidades del primero. En el curso académico 2020/2021 se utilizó este segundo demostrador con otros 18 alumnos de la misma titulación. Los resultados de estas experiencias se publicaron en el 21 *IFAC World Congress*, que se celebró en Berlín en el año 2020, y en el artículo *Environment for Education on Industry 4.0*, publicado en la revista *IEEE Access* (JCR-Q2). En estos momentos está en proceso de revisión el artículo *Development of demonstration models for training on Industry 4.0: application to an electro-pneumatic cell* (JCR-Q1) en la revista *Computers in Industry* donde se proponen las pautas a seguir para desarrollar este tipo de demostradores y formar a los estudiantes con ellos.

El procedimiento seguido es la siguiente:

Objetivos 1, 2 y 3 (desarrollo): Se ha utilizado la metodología conocida como Learning Factory, para definir entornos flexibles de aprendizaje activo que son réplicas de procesos reales y promueven tanto la motivación del estudiante como el planteamiento de actividades prácticas diversas.

Objetivo 4 (eficacia): Se ha utilizado la Escala de Usabilidad de un Sistema (SUS), que consta de 10 preguntas dirigidas a evaluar la usabilidad de un sistema dado. Además, se han añadido preguntas complementarias para analizar la percepción del estudiante sobre la mejora de su aprendizaje.

Objetivo 5 (sostenibilidad): Los profesores que han participado en la experiencia han mantenido reuniones periódicas mensuales. Se han considerado los comentarios de mejora por parte de los alumnos de la experiencia inicial. Aunque el esfuerzo inicial para el desarrollo de estas plataformas tecnológicas ha sido enorme, se ha constatado que este ha ido disminuyendo a medida que se avanzaba, lo que ha posibilitado la sostenibilidad de la acción.

Objetivo 6 (transferibilidad): Consulta de artículos y metodologías relacionadas con la formación en digitalización de la industria. Redacción de dos ponencias de congreso y dos publicaciones en revistas de impacto.

4. Temporalización

En general, se ha cumplido con los plazos previstos que se muestran en el cronograma siguiente. No obstante, ha habido un cierto retraso en las publicaciones en revistas JCR, asociado al proceso de revisión y correcciones.

ACTIVIDADES	2019			2020			2021		
Desarrollo del primer demostrador (Premio Siemens)	■	■	■						
Uso docente del primer demostrador			■	■	■				
Desarrollo del segundo demostrador				■	■	■			
Uso docente del segundo demostrador						■	■	■	
Análisis de resultados y difusión				■ H1	■ H2	■			■ H3 ■ H4

H1: Jornadas de Automática – H2: Congreso Mundial IFAC – H3: Artículo IEEE Access – H4: Artículo Computer in Industry

Figura 4-1. Temporalización

5. Recursos materiales y económicos utilizados

Patentes ULE: P201331249 y ES1076818Y (punto de partida de los demostradores) - Premio Siemens 2019 del Comité Español de Automática (dotación para la puesta en marcha del primer demostrador) - Aportaciones PAGID 2020 y 2021 de la ULE (adquisición de nuevo equipamiento para los demostradores), becas de colaboración y residencia en grupos de investigación de tres alumnos que a día de hoy son miembros del grupo de investigación SUPPRESS (desarrollo de los demostradores) - Ayudas ULE para publicación de artículos y asistencia a congresos.

6. Propuesta

El proyecto gira en torno al desarrollo de dos demostradores para la formación en digitalización de la industria, que el Grupo de Investigación SUPPRESS (<https://suppress.unileon.es/>) de la Universidad de León ha puesto en marcha recientemente. El primero de ellos toma como punto de partida una maqueta industrial diseñada para controlar diferentes variables relevantes (nivel, caudal, presión y temperatura) sobre un fluido en circulación, con un circuito general por el que pasa el fluido de proceso y dos circuitos auxiliares para el calentamiento y enfriamiento. El esquema de la maqueta industrial con sus circuitos y elementos, así como su gemelo digital puede verse con más detalle en la siguiente figura:

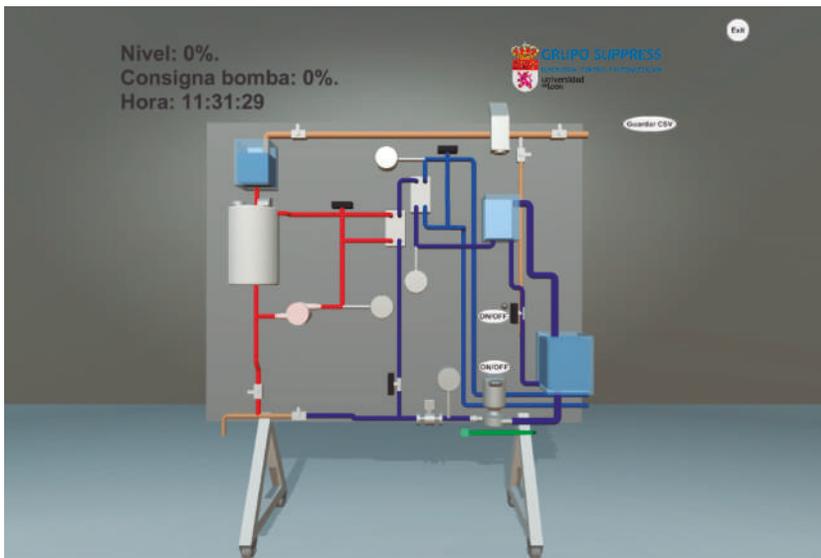


Figura 6-1. Maqueta industrial de 4 variables y simulación

Por otro lado, el segundo demostrador trabaja con una célula electropneumática que replica un proceso industrial orientado a la clasificación de piezas metálicas en función del código reflejado en éstas. En la siguiente figura se pueden ver las partes de las que se compone la célula electropneumática de clasificación con su gemelo digital:

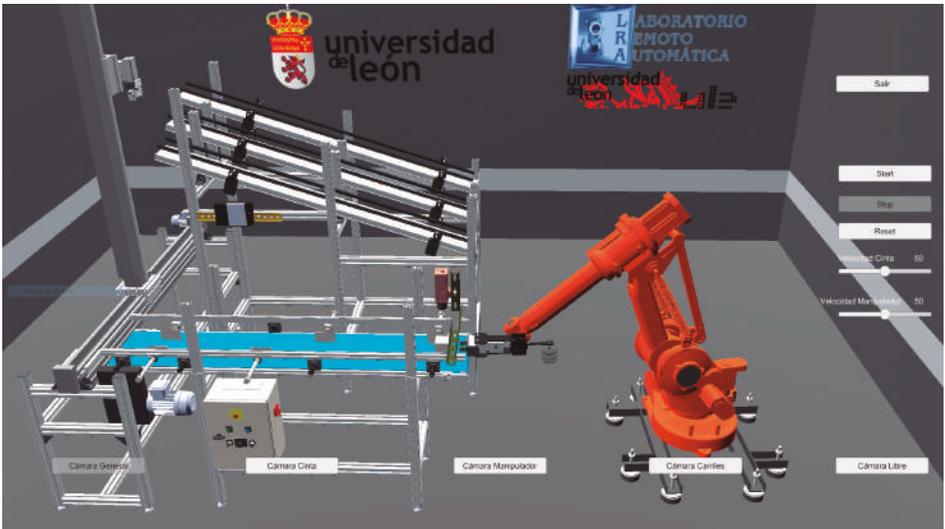
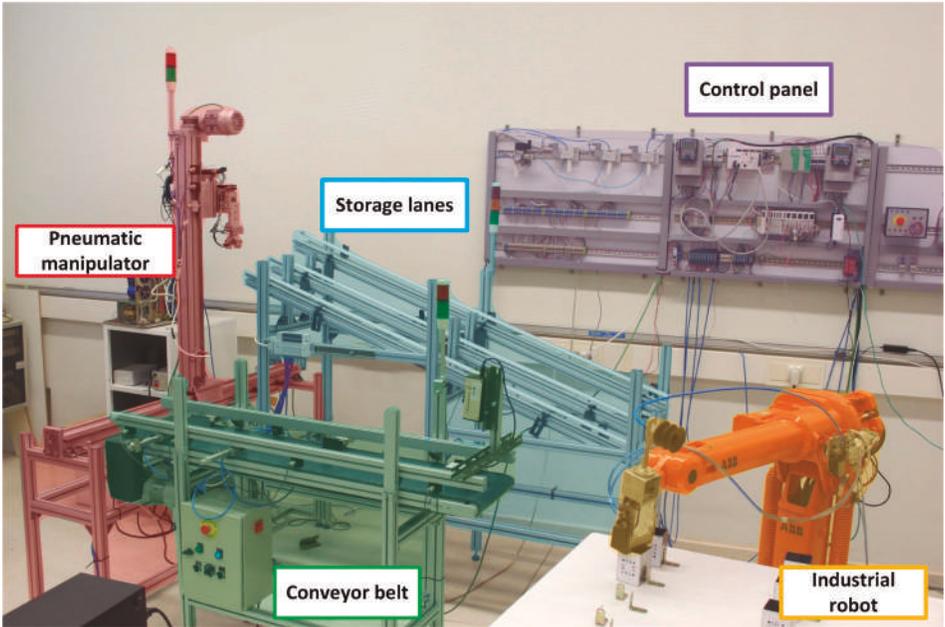


Figura 6-2. Célula electropneumática de clasificación y simulación

En estos dos demostradores desarrollados se incorporan las tecnologías habilitadoras más relevantes para traer el paradigma de la Industria 4.0 y la digitalización al ámbito de la enseñanza universitaria. En el caso del primer demostrador, desarrollado a partir de la maqueta industrial de 4 variables, las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0, así como la arquitectura desarrollada, se aplican según se puede observar en la siguiente figura:

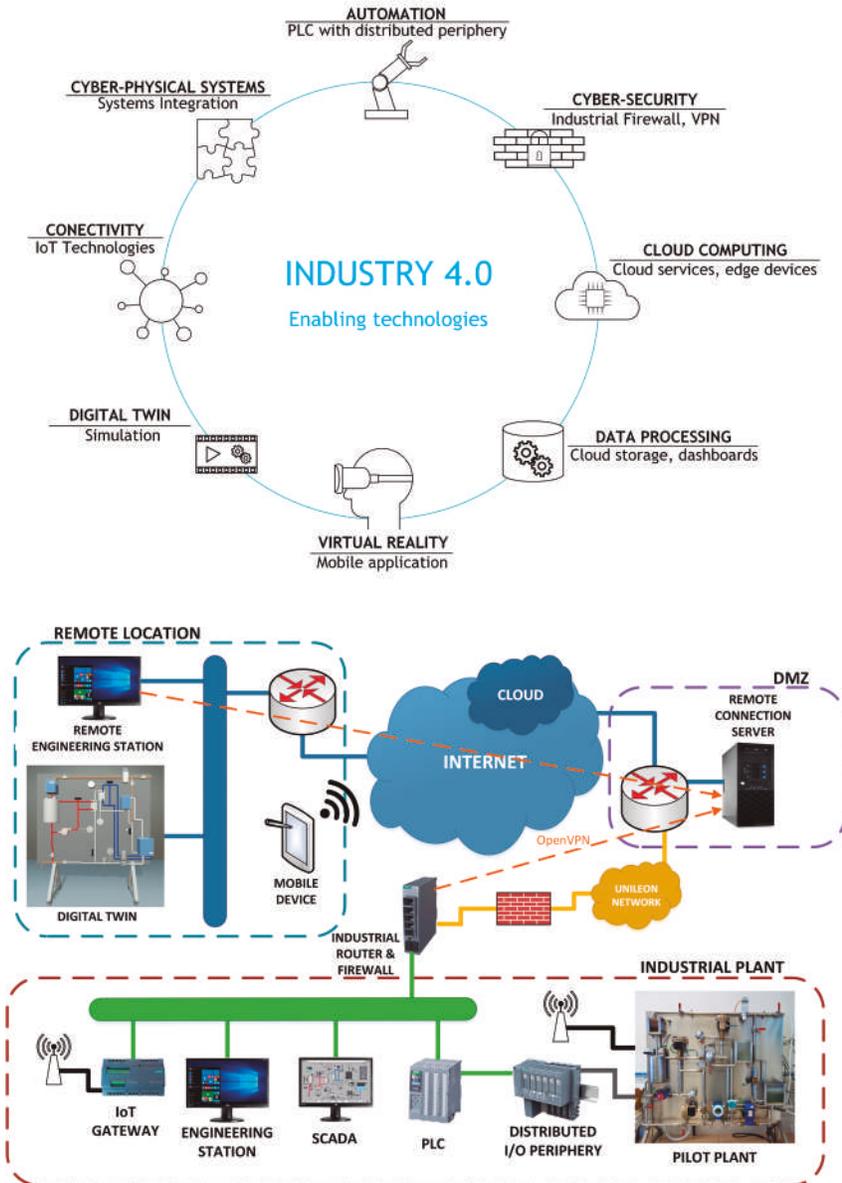


Figura 6-3. Tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 y arquitectura del primer demostrador

Por otro lado, la implementación de las tecnologías habilitadoras en el segundo demostrador, desarrollado a partir de la célula electroneumática de clasificación, y su arquitectura, se efectúa de forma bastante similar, siguiendo el esquema marcado por la siguiente figura:

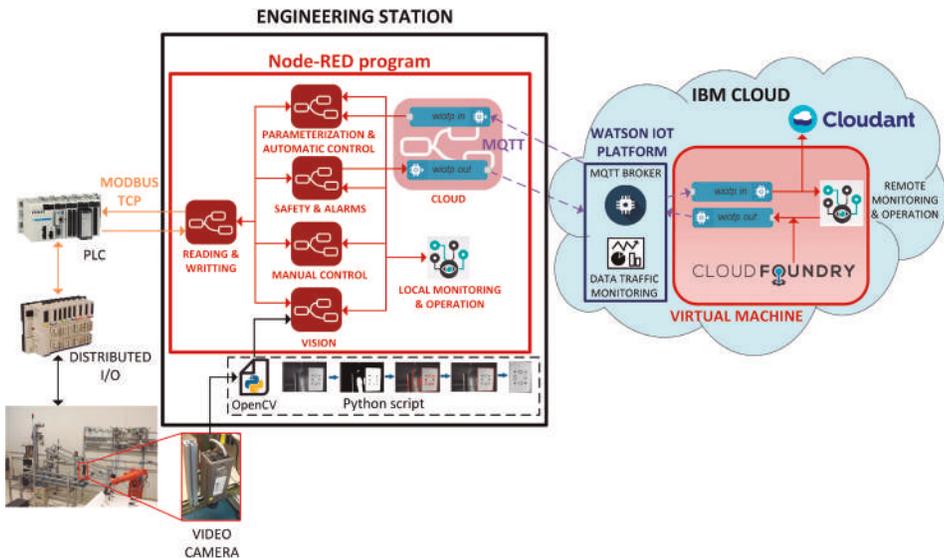
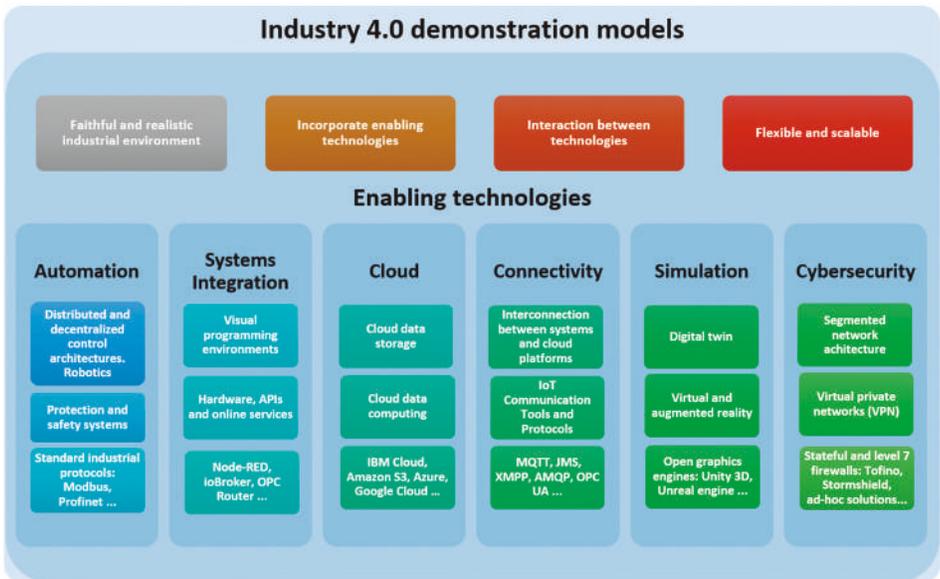


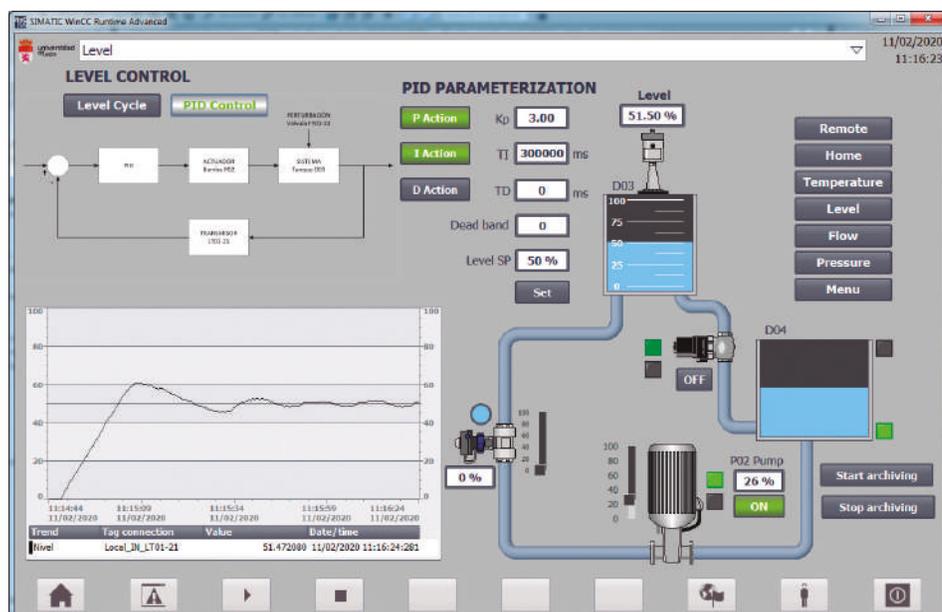
Figura 6-4. Tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 y arquitectura del segundo demostrador

7. Experiencia educativa y resultados obtenidos

En cuanto a la experiencia educativa llevada a cabo con los demostradores del Grupo SUPPRESS, en el curso académico 2019/2020, se utilizó el primer demostrador con los alumnos de la Escuela de Ingenierías en la asignatura *Automatización y Control de Procesos* del Máster en Producción en Industria Farmacéutica.

Posteriormente, en el curso académico 2021/2021 se utilizó este segundo demostrador con otros alumnos de la Escuela. Los resultados de estas experiencias se publicaron en el 21 *IFAC World Congress*, que se celebró en Berlín en el año 2020, y en el artículo *Environment for Education on Industry 4.0*, publicado en *IEEE Access*. En estos momentos está en proceso de revisión en la revista *Computers in Industry* el artículo *Development of demonstration models for training on Industry 4.0: application to an electro-pneumatic cell*, donde se proponen las pautas a seguir para desarrollar este tipo de demostradores y formar a los estudiantes con ellos.

En cuanto a las actividades prácticas que se han propuesto a los estudiantes, en el anexo se pueden ver los enunciados planteados para trabajar con los demostradores. A continuación, se incluyen una serie de imágenes de diferentes ejercicios planteados y parte de los resultados.



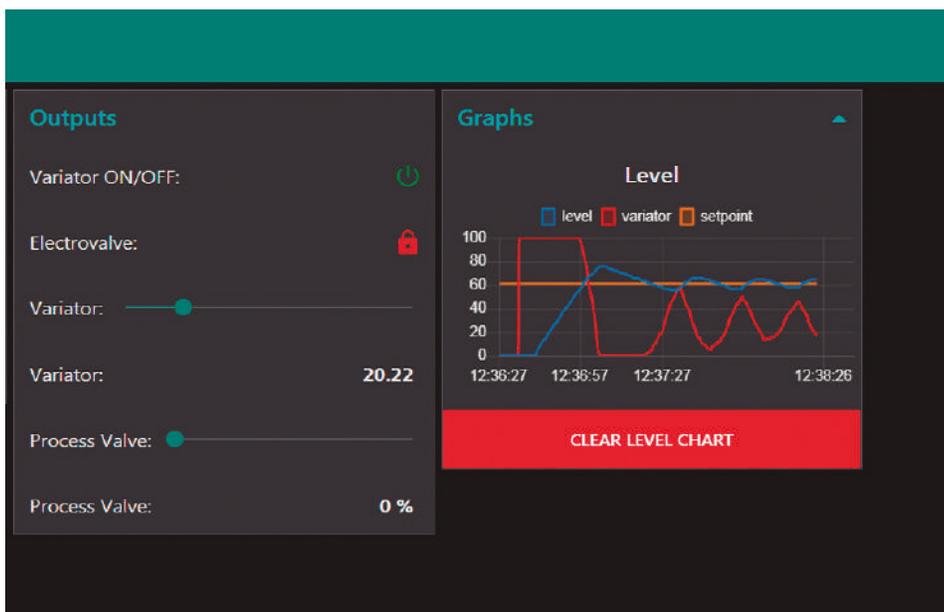
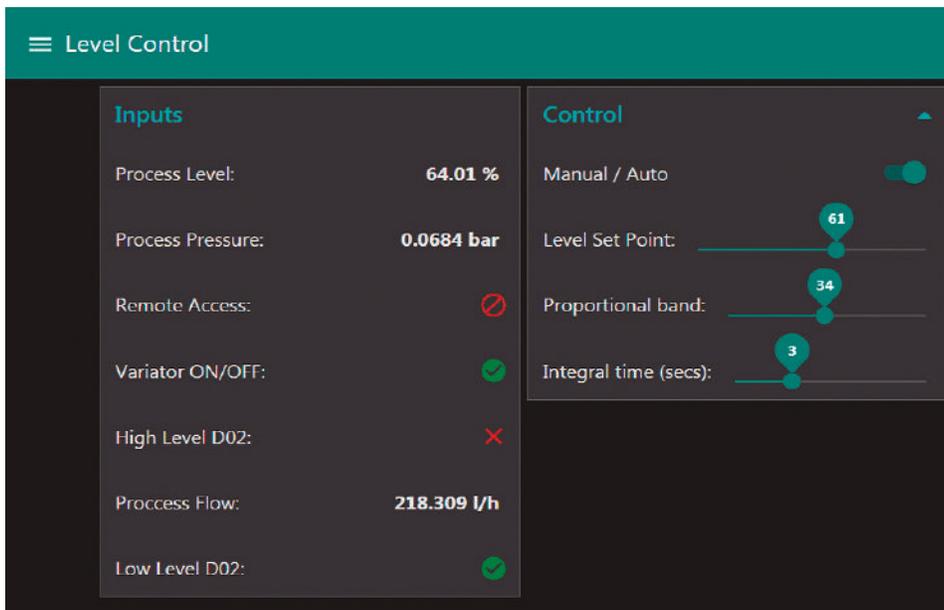


Figura 7-1. Lazos de control de nivel ejecutados a nivel local (página anterior) y a nivel remoto (dividida en dos partes por necesidades de visualización)

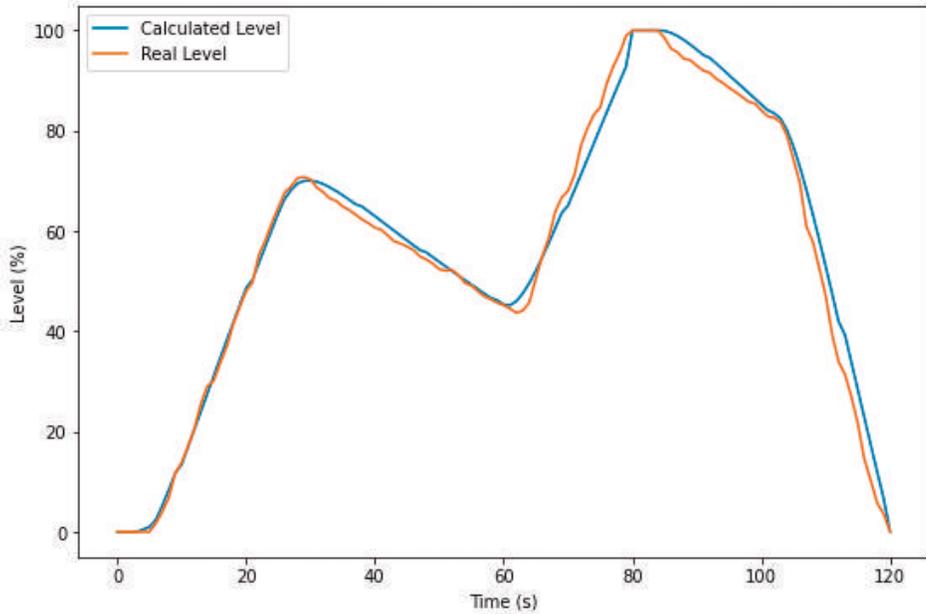


Figura 7-2. Resultado obtenido comparando la respuesta de la simulación y la respuesta real del sistema

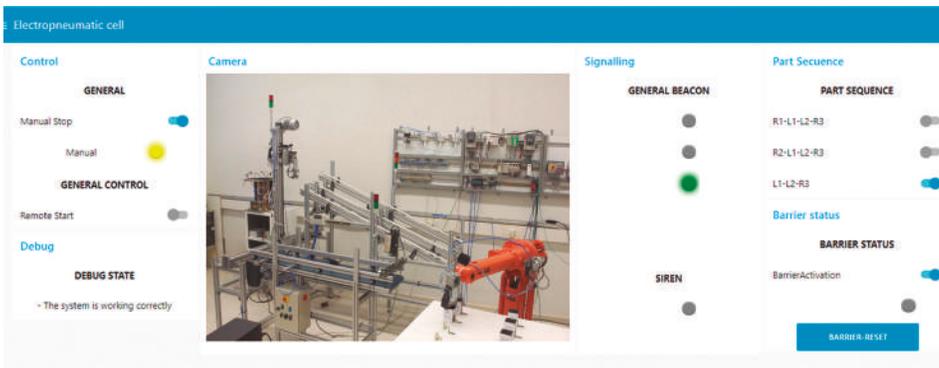


Figura 7-3. Control de la célula electropneumática vía dispositivo IoT

Los resultados cuantitativos relativos a las encuestas realizadas a los estudiantes se pueden ver a continuación. Estos resultados, junto con la valoración realizada por los profesores implicados y la mejora en los resultados académicos de los estudiantes, indica que el enfoque propuesto ha sido adecuado para adquirir habilidades en el manejo de las nuevas tecnologías industriales. La expe-

riencia ha aumentado la motivación en el proceso de aprendizaje y ha sido útil para consolidar conocimientos teóricos, proporcionando una visión integral de la Industria 4.0. Todos los alumnos expresaron sus deseos de realizar más tareas prácticas con los demostradores y el uso de los mismos no aumentó drásticamente la carga de trabajo del profesorado. El esfuerzo realizado el primer año para poner en marcha el primer demostrador, sobre todo en la parte relativa a la realidad virtual y de la conectividad entre los diferentes sistemas, ha sido superior al esperado.

Tras la realización de las actividades prácticas, a los estudiantes se les planteó un cuestionario anónimo de compuesto por 10 preguntas basadas en la escala de usabilidad conocida como SUS (System Usability Scale), junto con otras 5 preguntas adicionales orientadas a evaluar la percepción que tiene el estudiante sobre la relevancia del entorno de prácticas empleado de cara a su aprendizaje. La lista de preguntas planteadas es la que se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 7-1. Cuestiones planteadas a los alumnos

Q1	Pienso que es interesante la utilización del Demostrador para el aprendizaje de la asignatura
Q2	Encontré el sistema innecesariamente complejo
Q3	Con las explicaciones y los recursos disponibles, pienso que la utilización del sistema resulta sencilla
Q4	La utilización del sistema resulta compleja sin el apoyo de un técnico o las explicaciones previas del profesor
Q5	Me pareció que las diversas funcionalidades del sistema están bien interrelacionadas
Q6	Pienso que hay muchas inconsistencias en el sistema
Q7	En mi opinión, la mayoría de los alumnos pueden aprender a usar el sistema utilizando la documentación disponible y las explicaciones del profesor
Q8	He sido capaz de resolver las tareas propuestas
Q9	Me pareció que la utilización del sistema es muy engorrosa
Q10	Tuve que aprender muchas cosas antes de conseguir poner en marcha el sistema
Q11	Considero que el Demostrador es útil para asentar los conocimientos teóricos
Q12	Mi aprendizaje ha mejorado con la utilización del Demostrador
Q13	Las utilizations de este tipo de Demostradores aumentan mi motivación en el proceso de aprendizaje
Q14	Estaría interesado en poder realizar más prácticas con el Demostrador
Q15	Considero que esta práctica me ha permitido adquirir los conocimientos relativos a las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0

Tras analizar los resultados de los cuestionarios distribuidos entre los alumnos, se han obtenido los resultados plasmados en las siguientes gráficas, siendo la gráfica izquierda la correspondiente al primer demostrador, empleado en el curso académico 2019-2020, y la derecha la correspondiente al segundo demostrador, utilizado en el curso académico 2020-2021:

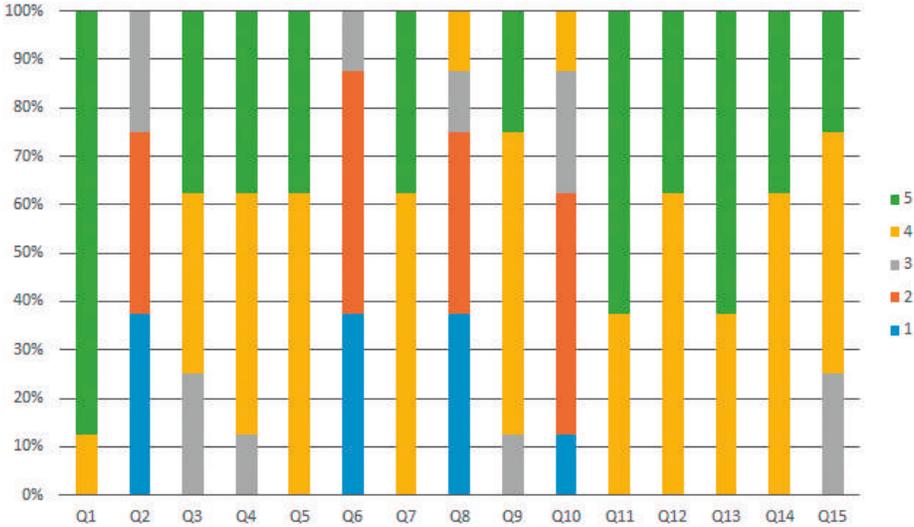


Figura 7-4. Resultados de la encuesta realizado a los alumnos sobre el primer demostrador

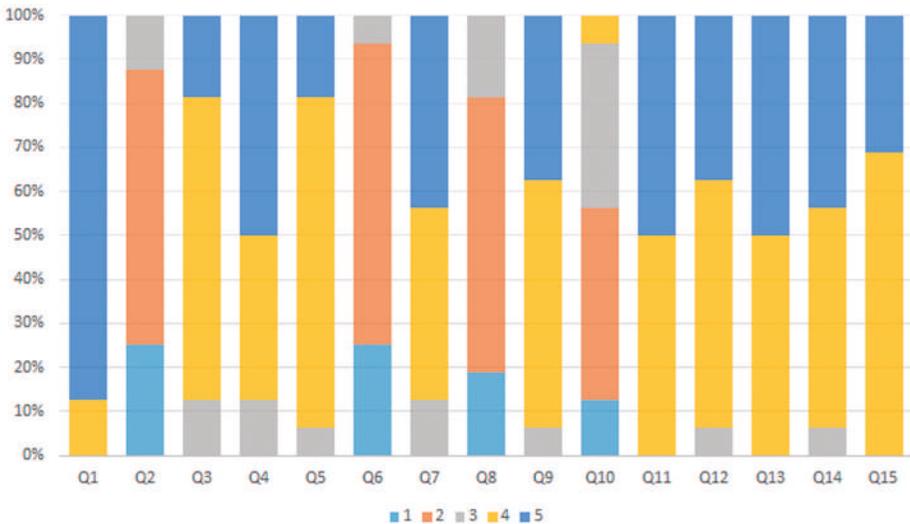


Figura 7-5. Resultados de la encuesta realizado a los alumnos sobre el segundo demostrador

Observando las gráficas se puede comprobar que, a rasgos generales, los resultados de las encuestas son satisfactorios, teniendo en cuenta que las preguntas 13, 5, 7, 9 y 11-15 tienen un significado positivo con respecto a la utilización de los demostradores, mientras que las preguntas 2, 4, 6 y 8 tienen un significado negativo. Por ello, llama la atención que un gran porcentaje de los alumnos contestó con una puntuación de 4 o 5 a la pregunta 4, que es tiene cierta connotación negativa: “necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema”. Esta respuesta nos hace reflexionar sobre si, en este tipo de modelos de demostración de tecnologías emergentes, los alumnos necesitarían más ayuda del profesorado para utilizar el sistema con mayor seguridad. No obstante, analizando los resultados, se puede concluir que los demostradores cumplen con su objetivo de ofrecer una formación real en el enfoque de la Industria 4.0.

8. Difusión de los resultados

La difusión de los resultados de este proyecto comienza en el congreso nacional *XL Jornadas Nacionales de Automática* del año 2019 (Ferrol), donde el grupo presenta resultados preliminares. Posteriormente, en 2020, se describe una aproximación al primer demostrador en el congreso internacional *21 IFAC World Congress* (Berlín) en la sesión *Control Education*, con la ponencia *Development of a Remote Industrial Laboratory for Automatic Control based on Node-RED* (SJR-Q3). Posteriormente, se publica el primer artículo en la revista *IEEE Access* (JCR-Q2), con el título *Environment for Education on Industry 4.0*, que versa sobre el desarrollo del primer demostrador y los resultados de su utilización con los alumnos. Por último, se escribe un segundo artículo, *Development of demonstration models for training on Industry 4.0: application to an electro-pneumatic cell*, que está en proceso de revisión en la revista *Computers in Industry* (JCR-Q1), que propone pautas para el desarrollo y utilización de este tipo de entornos en la formación de carácter tecnológico. Además, en las reuniones periódicas de los solicitantes con los profesores del grupo de trabajo de Educación en Automática del Comité Español de Automática (CEA), se ha dado difusión a los entornos de aprendizaje desarrollados.

9. Recursos interactivos

En el enlace <https://suppress.unileon.es/demostradores/industria-4-0/videos/>, se puede ver un video en el que se muestran las dos versiones de los gemelos digitales de los demostradores.

La primera parte del vídeo muestra cómo es el uso del gemelo digital referente al demostrador que trabaja con la maqueta de 4 variables. En ella se observa que se puede controlar el nivel del tanque superior mediante el uso de una bomba y una electroválvula. Además, permite almacenar los datos en un fichero CSV lo que nos permite poder comparar los resultados obtenidos a través de la aplicación con los que se extraen del sistema real. La segunda parte del vídeo muestra

la aplicación del segundo de los demostradores que trabaja con la célula electro-neumática. Esta aplicación permite la simulación del funcionamiento real de la célula tras seleccionar la pieza y la secuencia a seguir. Además, al igual que la anterior aplicación, permite generar un fichero CSV donde se almacenan los datos de la simulación.

Por otro lado, se muestran imágenes de las aplicaciones para dispositivos Android. Estas aplicaciones consisten en simulaciones inmersivas gracias a la realidad virtual, que permiten al alumno ver el funcionamiento del sistema como si se encontrase ante éste. En la siguiente imagen se puede observar el aspecto de las aplicaciones de realidad virtual del demostrador de la maqueta de 4 variables (arriba) y la célula electro-neumática de clasificación (abajo):

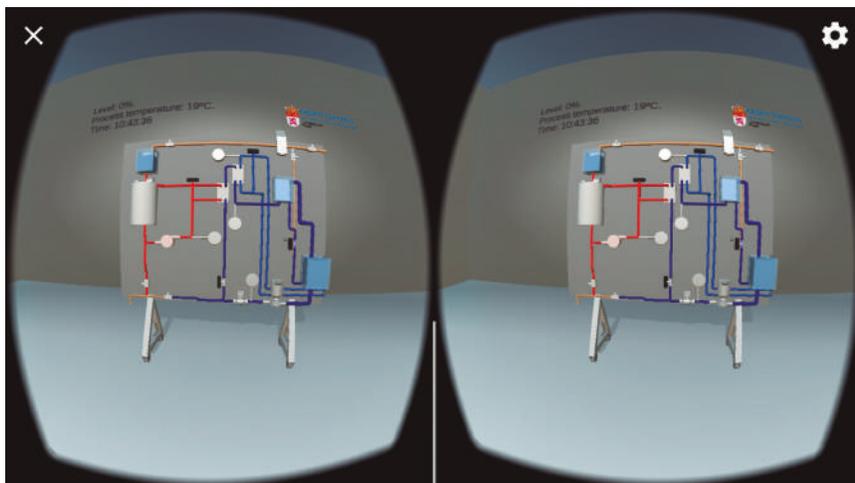


Figura 9-1. Aplicación de realidad virtual de la maqueta de 4 variables

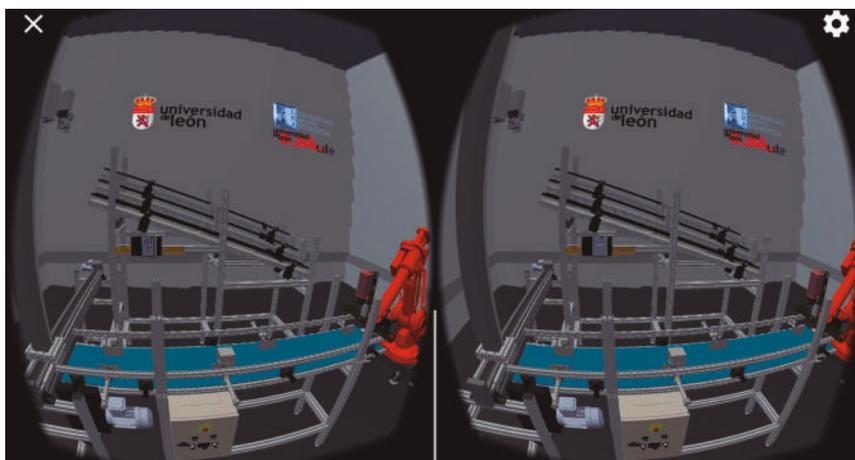


Figura 9-2. Aplicación de realidad virtual la célula electro-neumática

Para una correcta visualización de la realidad virtual, es necesario el uso de unas gafas especiales a las que se acopla el dispositivo móvil, como las que se muestran en la siguiente imagen:

A continuación, se muestra también una aplicación para dispositivos Android que incorpora realidad aumentada. Esta aplicación consiste en la representación tridimensional modelizada de la célula electroneumática que permite visualizar con alto grado de detalle todas las partes del sistema. Resulta de gran utilidad cuando se quiere mostrar y explicar las partes de la célula a los estudiantes:

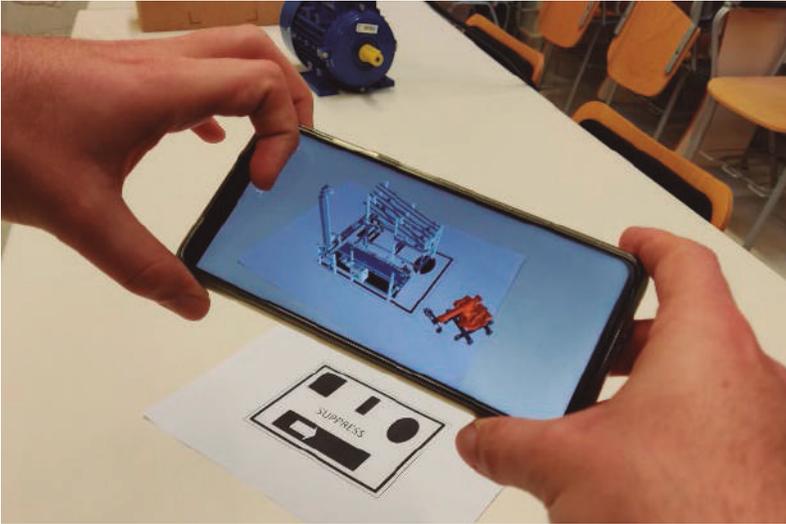


Figura 9-3. Uso de la aplicación de realidad aumentada para visualizar los elementos de la célula electroneumática

Por último, se facilitan como recursos interactivos, enlaces en la página web del grupo SUPPRESS donde se pueden utilizar versiones simplificadas de los gemelos digitales mostrados en los videos.

Dichas simulaciones están disponibles en las pestañas inferiores de la página llamadas “Gemelo Digital” accesibles desde los siguientes enlaces:

Enlace Maqueta de 4 variables:

<https://ira.unileon.es/sistemas-fisicos/maqueta-de-4-variables/simulaciones/>

Enlace Célula electroneumática:

<https://ira.unileon.es/sistemas-fisicos/celula-electroneumatica-robotizada/simulaciones/>

10. Proyección y compromiso institucional

Esta experiencia educativa no sólo es aplicable a los casos expuestos. Las asignaturas del ámbito del control industrial y automatización pueden verse reforzadas con el uso de este tipo de demostradores tecnológicos. Además, el alcance no se limita a la Universidad de León, donde se encuentran los demostradores, sino que, haciendo uso de la plataforma tecnológica del Laboratorio Remoto en Automática, se puede acceder a los demostradores vía internet.

Como se ha indicado, las pautas para el desarrollo de este tipo de demostradores han sido presentadas en reuniones del grupo de Educación en Automática del Comité Español de Automática, al que pertenecen los solicitantes. Además, en las publicaciones presentadas, particularmente en la segunda, se generalizan las pautas a seguir para que otros miembros de la comunidad educativa interesados pueda desarrollar demostradores similares para la digitalización de la industria.

Los responsables institucionales de la Universidad de León han apoyado esta propuesta desde su inicio, tanto directa como indirectamente. El apoyo directo se ha materializado en el asesoramiento y financiación del proceso de obtención de las patentes mencionadas y en las aportaciones del plan de Apoyo de los Grupos de Innovación Docente (PAGID 2020-2021).

Adicionalmente, los solicitantes han participado en diversos cursos de formación relacionados con la innovación docente, dentro del programa de Formación en Innovación Docente de la Escuela de Formación PDI de la ULE. El compromiso de la institución, por lo tanto, se considera elevado.

11. Bibliografía

Las principales fuentes de información han sido las referencias bibliográficas que se muestran a continuación junto con las incluidas en los dos artículos científicos presentados. Esta información se ha clasificado en cuatro categorías:

1. Industria 4.0 – Digitalización de la industria - IIoT (Industrial Internet of Things), con el análisis de las tecnologías habilitadoras: conectividad basada en estándares, realidad virtual y aumentada, gemelo digital, etc.;
2. Educación en el ámbito de la digitalización de la industria;
3. Metodología Learning Factories. Las diferentes propuestas revisadas tienen asociadas páginas web, laboratorios virtuales y/o remotos, etc.;
4. Indicadores y evaluación. Escala de usabilidad SUS, eficiencia, transferibilidad y sostenibilidad.

11.1 Industria 4.0

B. Bigliardi, E. Bottani, G. Casella, Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis, *Procedia Manufacturing* 42 (2020) 322–326.

A. Ustundag, E. Cevikcan, *Industry 4.0: managing the digital transformation*, Springer Series in Advanced Manufacturing, 2017.

H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, T. Watson, The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, *Computers in Industry* 101 (2018) 1–12.

F. Tao, H. Zhang, A. Liu, A. Y. C. Nee, Digital twin in industry: State-of-the-art, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 15 (2019) 2405–2415.

S. Fareri, G. Fantoni, F. Chiarello, E. Coli, A. Binda, Estimating industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining, *Computers in Industry* 118 (2020) 103222.

P. K. Muhuri, A. K. Shukla, and A. Abraham, “Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 78, pp. 218–235, feb 2019.

A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, “Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies,” *International Journal of Production Economics*, vol. 210, pp. 15–26, apr 2019.

S. Vaidya, P. Ambad, and S. Bhosle, “Industry 4.0 - A Glimpse,” in *Procedia Manufacturing*, vol. 20. Elsevier B.V., jan 2018, pp. 233–238.

11.2 Educación en el ámbito de la digitalización de la industria

F. Almeida, J. Simoes, The role of serious games, gamification and industry 4.0 tools in the education 4.0 paradigm, *Contemporary Educational Technology* 10 (2019) 120–136.

K. Schuster, K. Groß, R. Vossen, A. Richert, S. Jeschke, Preparing for industry 4.0 – collaborative virtual learning environments in engineering education, in: S. e. a. Frerich (Ed.), *Engineering Education 4.0*, Springer, Cham, 2016.

A. Benešová and J. Tupa, “Requirements for education and qualification of people in industry 4.0,” *Procedia Manufacturing*, vol.11, pp.2195–2202,2017,27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy

M. Baygin, H. Yetis, M. Karakose, and E. Akin, “An effect analysis of industry 4.0 to higher education,” in 2016 15th international conference on information technology based higher education and training (ITHET). IEEE, 2016, pp. 1–4.

11.3 Metodología *Learning Factories*

E. Abele, J. Metternich, M. Tisch, G. Chryssolouris, W. Sihn, H. ElMaraghy, V. Hummel, F. Ranz, Learning factories for research, education, and training, *Procedia CIRP* 32 (2015) 1–6.

L. P. Anjarichert, K. Gross, K. Schuster, S. Jeschke, Learning 4.0: Virtual immersive engineering education, *Digit. Univ* 2 (2016) 51.

F. Baena, A. Guarin, J. Mora, J. Sauza, S. Retat, Learning factory: The path to industry 4.0, *Procedia Manufacturing* 9 (2017) 73–80.

M. Elbestawi, D. Centea, I. Singh, T. Wanyama, Sept learning factory for industry 4.0 education and applied research, *Procedia Manufacturing* 23 (2018) 249–254.

B. Schallock, C. Rybski, R. Jochem, H. Kohl, Learning factory for industry 4.0 to provide future skills beyond technical training, *Procedia Manufacturing* 23 (2018) 27–32.

M. Hernandez-de Menendez, C. A. E. Díaz, and R. Morales-Menendez, “Engineering education for smart 4.0 technology: a review,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 14, no. 3, pp. 789–803, 2020.

11.4 Indicadores y evaluación

A. Bangor, P. T. Kortum, J. T. Miller, An empirical evaluation of the system usability scale, *International Journal of Human–Computer Interaction* 24 (2008) 574–594.

Prada, Miguel A., et al. “Challenges and solutions in remote laboratories. Application to a remote laboratory of an electro-pneumatic classification cell.” *Computers & Education* 85 (2015): 180-190.

Fidalgo-Blanco, Ángel, et al. “Using Learning Analytics to improve teamwork assessment.” *Computers in Human Behavior* 47 (2015): 149-156.

Sein-Echaluze, Maria Luisa, et al. “A method to propose good practices of teaching educational innovation.” *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. 2019.

Sein-Echaluze, Marisa, et al. “Knowledge management system for applying educational innovative experiences.” *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality*. 2013.

12. ANEXOS

1. Actividades propuestas con el primer demostrador.
2. Actividades propuestas con el segundo demostrador.

PRÁCTICA

Demostrador para la formación en Industria 4.0

Fecha:	Tarea:	Asignatura:	Carácter:	Páginas:
2019	PRÁCTICA	Automatización y Control de Procesos	Grupos de 2-3 personas	14

Industria 4.0

PRÁCTICA INDUSTRIA 4.0

TÍTULO:

Demostrador para la formación en Industria 4.0

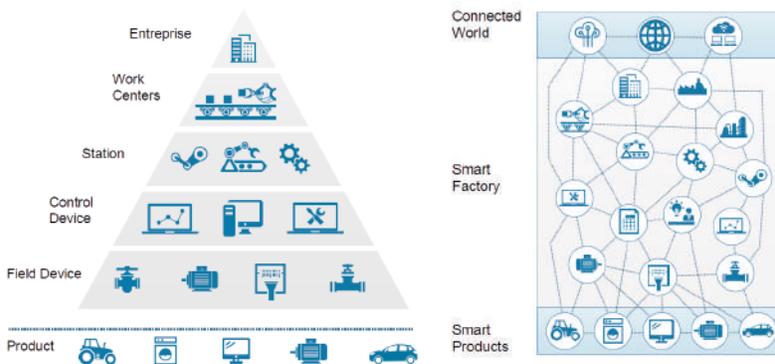
OBJETIVOS:

Conocer las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0.
Manejar herramientas de integración de sistemas y comunicación en el ámbito de la IIoT (Industrial Internet of Things)
Manejar entornos de experimentación representativos de la Industria 4.0

INTRODUCCIÓN:

En los últimos años surge un nuevo modelo para la automatización industrial, que rompe con las estructuras y planteamientos tradicionales y busca un mayor desarrollo tecnológico, digitalización e interconexión de sistemas. Se apoya en el empleo de la Inteligencia Artificial, en el procesamiento de grandes conjuntos de datos o *Big Data* y en el uso de nuevos conceptos emergentes como la computación en la nube. Este nuevo planteamiento viene a recibir el nombre de Industria 4.0.

En este contexto de revolución industrial, la empresa SIEMENS junto con el Comité Español de Automática (CEA), lanzó el concurso “Automatización y digitalización. Industria 4.0”, premiando el proyecto “Entorno industrial de experimentación para investigación en Industria 4.0”, presentado por la Universidad de León. Dicho proyecto buscaba desarrollar un demostrador que, por un lado, permitiera a los alumnos un acercamiento a este nuevo paradigma que supone la Industria 4.0 y, por otro, facilitara la investigación y experimentación también en ese campo.



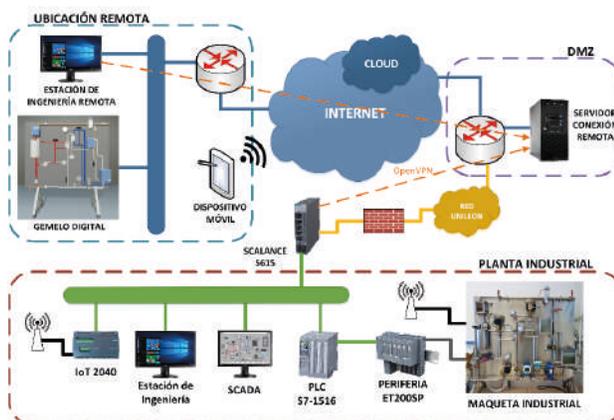
De la Industria 3.0 a la Industria 4.0 Fuente: www.plattform-i40.de

Industria 4.0

DEMOSTRADOR DE INDUSTRIA 4.0 DE LA UNIVERSIDAD DE LEÓN

El demostrador incorpora las bases tecnológicas características de la Industria 4.0: conectividad con protocolos estándares, almacenamiento y procesamiento de datos en la nube, *machine learning*, gemelo digital (*digital twin*) y ciberseguridad industrial. En el proyecto, se toma como punto de partida una planta piloto industrial del grupo de investigación, que está ubicada en la Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial de la ULE, para transformarla en un sistema ciberfísico de la Industria 4.0. Este sistema incorpora autómatas programables de última generación de SIEMENS, con comunicación PROFINET. La ciberseguridad industrial está reforzada mediante firewalls industriales. Toda la información vinculada al proceso se transfiere a la nube a través de pasarelas inteligentes IIoT. Además, incorpora la funcionalidad de operación remota, mediante un acceso seguro, así como el análisis inteligente de los datos generados y almacenados en la nube. Asimismo, el proceso industrial se reproducido virtualmente mediante un gemelo digital.

Conceptualmente, el demostrador de Industria 4.0 presenta cuatro partes diferenciadas: la parte de la planta industrial, la zona desmilitarizada o DMZ (Desmilitarized Zone), la nube (Cloud) y las posibles ubicaciones remotas que puedan acceder al sistema. En la figura se puede ver un esquema general de la arquitectura que presenta el demostrador.



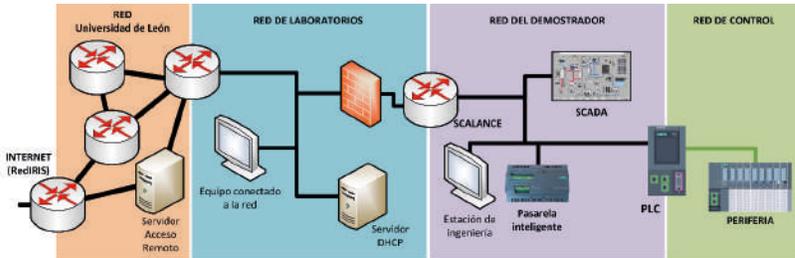
Demostrador para la formación e investigación en Industria 4.0 de la Universidad de León

En primer lugar, en la zona de planta se localizan el conjunto de dispositivos y equipos que interaccionan de forma más directa con el proceso industrial: la periferia descentralizada ET200SP, para adquisición de señales de la maqueta; el autómata programable S7-1516, para el control y comunicación de otros dispositivos con el proceso; una estación de ingeniería, principalmente para la configuración de los diversos equipos; un sistema SCADA, para la supervisión del proceso y procesamiento de datos; y, por último, la pasarela inteligente IoT 2040, que permite la comunicación con los servicios de la nube. El router/firewall SCALANCE S615 es el dispositivo que conecta estos equipos y los aísla del resto de la red de la Universidad de León y del exterior, protegiendo el sistema de posibles accesos no autorizados.

No todos los equipos mencionados se ubican en el mismo laboratorio de la Escuela de Ingenierías: la maqueta industrial está instalada en el laboratorio E2, mientras que como sede del Demostrador de Industria 4.0 se ha establecido en el laboratorio A2. Para empezar, estos dos laboratorios están situados en plantas distintas del Edificio Tecnológico de la escuela, lo que conlleva un problema de comunicaciones. Este problema se solventa con la creación de una red privada que conecta los laboratorios A2 y E2 y está aislada del resto de la red de la universidad.

Industria 4.0

En segundo lugar, la Zona Desmilitarizada (DMZ) está ubicada entre la red local de la Universidad de León y la red externa, permitiendo así la conexión y acceso a Internet desde la universidad y, por ende, desde la red del demostrador. En esa zona se ubica el servidor que permite establecer red privada virtual (VPN) para el acceso remoto a la planta desde el exterior, otra de las partes del demostrador, una supuesta ubicación remota que puede encontrarse en cualquier punto de la red Internet. La conexión VPN se consigue mediante el uso de la plataforma *SINEMA Remote Connect* de SIEMENS, que permitirá el acceso, administración y configuración remotos de la red a la que da soporte el router SCALANCE. De esta forma, el Servidor *Remote Connect* localizado en la DMZ funciona como intermediario entre la red privada del demostrador y los posibles clientes de SINEMA Remote Connect que quieran acceder a la red privada desde el exterior.



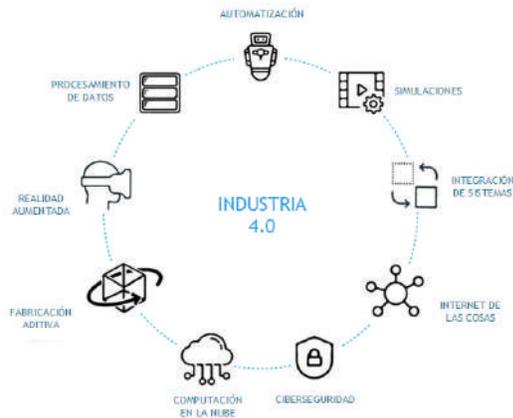
Configuración de redes del demostrador en Industria 4.0 de la Universidad de León

En el desarrollo del demostrador entran en juego 5 redes diferenciadas: la red RedIRIS, la red de la Universidad de León, la de los laboratorios de automática y control, la propia red del Demostrador de Industria 4.0 y la red aislada de control (ver Figura). El autómatas SIMATIC S7-1516 se conecta a la red privada del demostrador (con sede en el laboratorio A2) por una de sus interfaces PROFINET, con el fin de dar acceso al autómatas para la configuración, supervisión del proceso y también adquisición de datos, entre otras opciones. Desde el propio autómatas, a través de la segunda interfaz PROFINET, también se accede a la red de control que, aislada del resto de la red de universitaria, conecta directamente con la periferia en el laboratorio E2. La red del demostrador, creada con el router SCALANCE S615, se instala en la Universidad de León conectada a la red de los Laboratorios de Automática y Control en la Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial. En último lugar, la red de la Universidad de León conecta con RedIRIS, una red española diseñada para dotar de recursos informáticos a las universidades y centros de investigación, y permitir la interconexión entre éstos y a la red Internet.

Industria 4.0

TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE INDUSTRIA 4.0 DEL DEMOSTRADOR

En el proceso de transformación digital de la industria intervienen un conjunto de tecnologías habilitadoras que logran vincular el mundo físico al virtual para hacer de la industria una industria inteligente. En la figura siguiente se enumeran estas tecnologías. El demostrador de Industria 4.0 de la Universidad de León incorpora estas tecnologías.



Tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0. Fuente: weg.net

Automatización

El proceso industrial ha sido desarrollado por el grupo de Investigación SUPPRESS (Supervisión, Control y Automatización) de la Universidad de León. Se trata de una maqueta didáctica que permite simular procesos industriales con el manejo de cuatro variables: nivel, caudal, presión y temperatura. En dicha maqueta se manipula un total de 23 señales, accesibles desde uno de los laterales del cuadro eléctrico (en la parte posterior), empleando tres conectores del tipo DB25, que permiten adaptarse a distintos sistemas de control y facilitar, de esta forma, el aprendizaje y experimentación con equipos de diversos fabricantes.

El proceso industrial implementado en la maqueta se compone de 3 circuitos separados: uno de proceso, otro de calentamiento y otro de enfriamiento, como se puede apreciar en la figura. El circuito de proceso, en el que se manipulan las cuatro variables mencionadas anteriormente, consta de: dos depósitos o tanques interconectados a distintas alturas; una bomba centrífuga cuya velocidad se regula mediante un variador de frecuencia, empleada para impulsar el fluido; una válvula analógica que permite regular el caudal que se bombea y una electroválvula digital con la que se abre o cierra el desagüe que conecta el depósito superior con el inferior. Junto con estos equipos, dispone también de un sensor de presión a la salida de la bomba, un medidor del caudal de proceso, un transmisor de temperatura y un sensor de nivel por ultrasonidos, ubicado en el tanque superior.

Industria 4.0



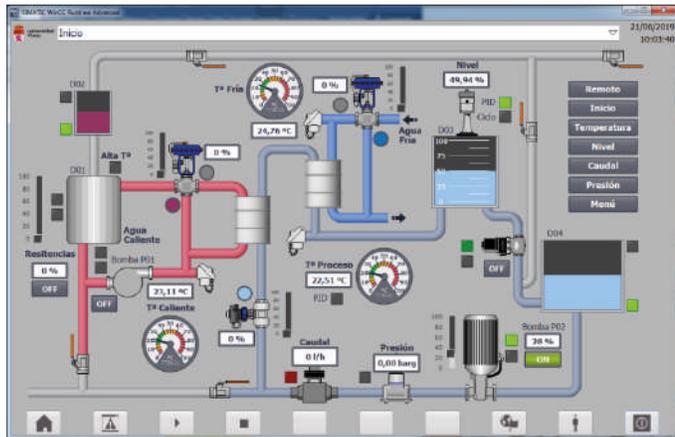
Proceso industrial del demostrador en Industria 4.0

Por otro lado, el circuito de calentamiento consta de un tanque en el que se genera y almacena el agua caliente necesaria, calentada mediante unas resistencias eléctricas regulables. El agua caliente será impulsada por una bomba y transferirá el calor al proceso a través de un intercambiador de placas, siendo el caudal regulado por una válvula de tres vías. Por último, en el circuito de enfriamiento se recirculará continuamente el líquido refrigerante desde el exterior y pasará por otro intercambiador de placas, regulando el caudal mediante otra válvula de tres vías.

El sistema control de la maqueta es un autómata programable de última generación de SIEMENS el SIMATIC S7-1516 3PN/DP. Se trata de uno de los últimos modelos de CPU de los que dispone SIEMENS en el mercado, con gran potencia de procesamiento. Entre las mejoras con las que cuenta se encuentra la incorporación de un servidor OPC UA, que permite la comunicación e intercambio de datos entre sistemas de diversa índole, como pueden ser equipos destinados al control, supervisión, gestión o empresa, abarcando todas las capas superiores de la pirámide de automatización. Otra de las características destacables es la mejora de la CPU con un *display* en la parte frontal, haciendo la configuración del dispositivo más sencilla: sin necesidad de acudir a una estación de ingeniería, se puede acceder a la información sobre el estado del autómata, las direcciones de las distintas tarjetas de comunicación y otros parámetros de red, los errores que puedan presentarse y el diagnóstico correspondiente. Por otro lado, incluye también la opción de habilitar un servidor web, desde el que se podrá visualizar el estado operativo del autómata, realizar un diagnóstico detallado y modificar determinados ajustes del programa y otros parámetros. Es una herramienta sumamente útil para la configuración remota, puesto que permite el acceso al autómata del mismo modo que se puede hacer desde el *display* incorporado.

Para la adquisición de las señales de la maqueta industrial se emplea la periferia descentralizada de SIEMENS, ET200SP, que permite el acceso a dispositivos y equipos que no presenten una conexión directa con el autómata. De esta forma, desde el PLC (en el laboratorio A2 la Escuela de Ingenierías), se consigue manipular las 23 señales disponibles en la maqueta industrial (en el laboratorio E2), con un solo cable de comunicación, sin necesidad de cablear al autómata todas y cada una de las señales del proceso. En cuanto al sistema de SCADA, en la figura siguiente se muestra la pantalla principal del HMI implementado.

Industria 4.0



HMI del sistema SCADA del demostrador de Industria 4.0

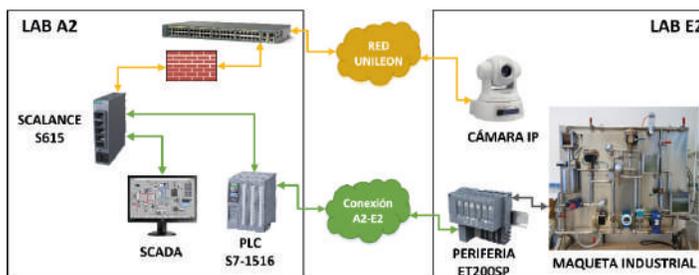
Ciberseguridad

El demostrador incorpora un router industrial de carril DIN para esta tarea, el *SCALANCE S615* de Siemens SIEMENS, especialmente orientado a la implementación de redes de automatización, y que permite proteger éstas frente a ataques externos de usuarios no autorizados. El equipo dispone del llamado Web Based Management (Administración Basada en la Web), que facilita considerablemente su configuración, permitiendo que ésta se realice vía web, mediante un servidor HTTP.

El equipo incluye 5 puertos para cables Ethernet, con el conector RJ-45, y se ha configurado de forma que los puertos del P1 al P4 constituyen una VLAN interna (INT) y el puerto P5 está asociado a una VLAN externa (EXT). El objetivo de esta separación en dos redes es dejar la red interna (INT) para la conexión de los distintos equipos presentes en la planta industrial, en lo que se conoce como zona de confianza, y emplear la red externa (EXT) para la conexión a Internet y acceso desde dispositivos remotos, en una zona que ya no es de confianza.

Es entonces cuando entra en juego el firewall del sistema, otra de las posibilidades de configuración más relevantes que presenta el *SCALANCE*, fundamental para la ciberseguridad: tiene la opción de realizar diversos filtrados de los paquetes que se intercambian entre las redes interna y externa, permitiendo pasar solo aquellos que se consideran seguros y de confianza: puede realizar filtrados por distintos protocolos de comunicación, dejando pasar sola y exclusivamente los necesarios, o por reglas IP, entre otros. El más interesante y empleado de cara a este proyecto es el filtrado por reglas IP, que define los paquetes que se aceptarán o serán descartados en función de la red de origen, la red de destino y la IP o conjunto de IPs de las que proceden o a las que van destinados. Además, el *SCALANCE S615* permite la creación de usuarios con distintos permisos de cara a la configuración del equipo, o la instalación de certificados digitales para verificar de la identidad de otras personas o equipos que pretendan acceder al sistema.

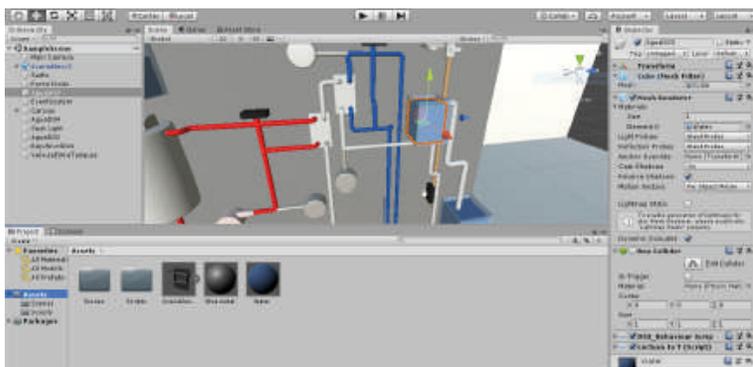
Industria 4.0



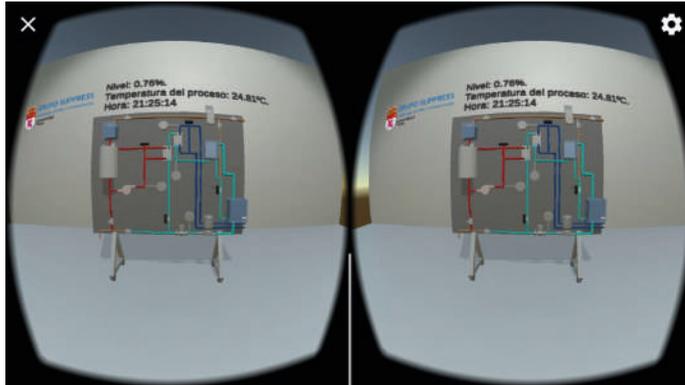
Ubicación de los equipos y ciberseguridad

Simulaciones – Digital Twin – Realidad Aumentada

Un gemelo digital es un modelado virtual realista de un sistema, un producto o un proceso industrial. El gemelo digital del demostrador en Industrial 4.0 se ha desarrollado utilizando el software Unity 3D. Dicho software, pese a estar pensado inicialmente para el desarrollo de videojuegos, cumple perfectamente con las características técnicas que son requeridas para la implementación de un gemelo digital industrial. Para la realización del gemelo digital del demostrador, se ha importado un modelo tridimensional, realizado con AutoCAD, que representa la maqueta de 4 variables descripta. A dicha maqueta se le ha dotado de dinamismo mediante las opciones gráficas que incorpora el propio Unity y se ha simulado el comportamiento dinámico de las distintas variables de la misma mediante scripts programados en C#. El gemelo digital, además de programarse para Windows, Linux e IOS, también se ha implementado para la plataforma de Android en dos versiones, una con realidad virtual (VR) y la otra sin ella.



Industria 4.0

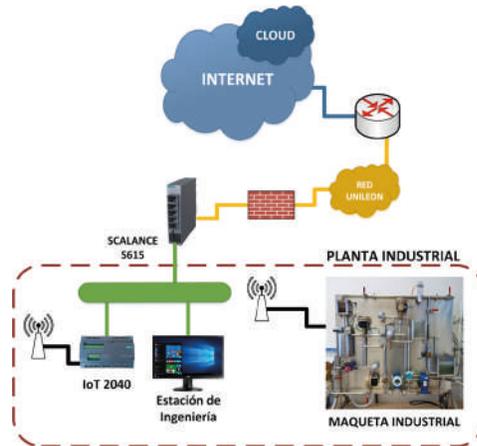


Digital Twin del demostrador

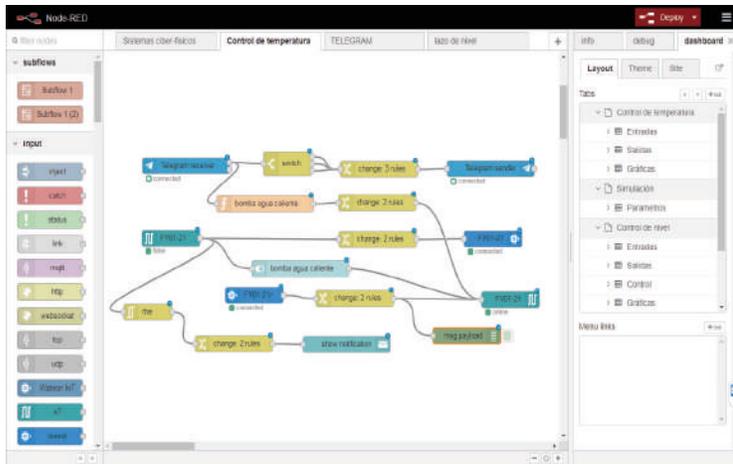
Procesamiento de datos y computación en la nube

Cada vez es más común que las empresas alojen datos en la nube o utilicen máquinas virtuales para diversos usos. Esta estrategia tiene grandes ventajas como el soporte las 24h del día y una alta seguridad y privacidad de los datos. Entre las opciones comerciales disponibles se encuentran AWS (Amazon Web Services), Google Cloud Platform Azure, Ubidots e IBM Cloud son las más famosas por la cantidad de servicios gratuitos que incorporan. Amazon Web Services ofrece un amplio conjunto de herramientas y servicios dentro del marco del *Cloud Computing*. La característica principal que lleva a determinadas entidades a decantarse por AWS es su antigüedad frente a otras opciones, lo cual dota a AWS de una cierta madurez, asociada a una mayor seguridad, estabilidad, y oferta de servicios suministrados. Es utilizada por empresas tan variadas como la NASA o el FC Barcelona, lo que deja en evidencia su carácter polivalente. Google Cloud es una nube que contiene servicios los cuales funcionan en la misma infraestructura que utiliza Google para dar soporte por ejemplo a su buscador. Destaca por los diversos servicios relacionados con Big Data que ofrece, así como servicios relacionados con inteligencia artificial: machine learning, traducción en tiempo real, creación de textos a partir de archivos de audio utilizando redes neuronales para obviar ruidos, etc. dado que los algoritmos empleados en estos servicios cuentan con autoaprendizaje, permiten mejorar la calidad del servicio ofertado constantemente, por ejemplo al utilizar las personas el servicio de traducción de Google día a día. Azure es la nube de Microsoft que está especializada en la gestión de las máquinas virtuales y está orientada principalmente a programadores. Por ello, su interfaz es bastante compleja y poco intuitiva para el público general. Ubidots es un servicio en la nube para la visualización de los datos en gráficas. Además, cuenta con un control de acceso y roles de usuarios. Tiene una integración muy sencilla entre la pasarela y el IOT2040. Por último, IBM Cloud ofrece servicios orientados a la industria y una arquitectura completa, desde máquinas virtuales orientadas a la conectividad con otras aplicaciones o servicios. Existe una cantidad ingente de documentación relacionada con los servicios que ofrecen de IBM Cloud. La conectividad es sencilla con la pasarela de comunicaciones mediante el protocolo MQTT.

Industria 4.0



Conexión con la nube de IBM



Entorno de programación de la comunión con la nube de IBM

IBM Cloud ofrece los 3 servicios disponibles en la red: infraestructura como servicio (IaaS), software como servicio (SaaS) y plataforma como servicio (PaaS). Infraestructura como servicio implica que un proveedor proporciona a los clientes acceso de pago por uso al almacenamiento, las redes, los servidores y otros recursos informáticos en la nube. Software como servicio proporciona el software y las aplicaciones a través de internet. Los usuarios se suscriben al software y acceden a él a través de la web o las APIs del proveedor. Por último, plataforma como servicio significa que el proveedor de servicios ofrece acceso a un entorno basado en cloud en el cual los usuarios pueden crear y distribuir aplicaciones. El proveedor proporciona la infraestructura subyacente.

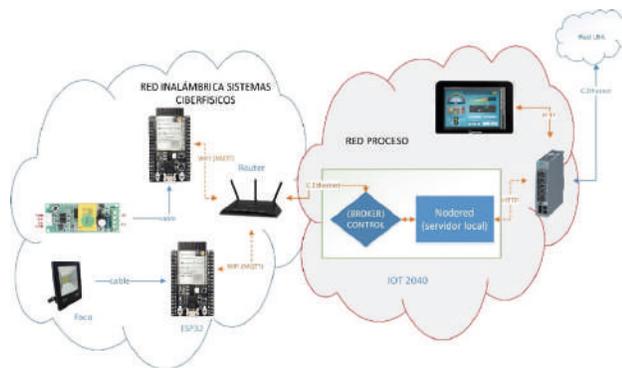
Industria 4.0

La arquitectura diseñada en el demostrador hace pasar todo el tráfico por la plataforma IOT Plataforma de IBM. Los datos se envían desde la pasarela IOT2040 hacia el Cloud mediante el protocolo MQTT. Una vez llegan ahí los datos se pueden visualizar con diferentes paneles y enviar a los diferentes servicios de la nube: Cloudant, análisis de datos, Cloud computing, etc. A nivel local, los datos que genera la maqueta de 4 variables, se recogen a través de las tarjetas I/O de la periferia y, mediante el protocolo de comunicación Profinet, se envían al PLC maestro con una latencia de 100 ms. Una vez que se dispone de estos datos en la memoria del PLC, el dispositivo IoT 2040 lee dicha información y la transfiere a la nube. El dato se envía mediante eventos, esto quiere decir que solo se realiza el envío cuando un dato cambia o se actualiza. Esto tiene sus ventajas e inconvenientes, como ventajas tiene un menor consumo de ancho de banda y datos (que son de pago en la plataforma), así como un menor consumo de procesador. Como inconvenientes están la incertidumbre de saber si el dato es el correcto cuando no se actualiza en mucho tiempo.

La programación de la comunicación entre la pasarela IOT2040 y la nube se realiza utilizando el software Node-RED. Este software se puede instalar en cualquier plataforma, ya sea Linux, Windows o el propio IOT2040, en el que ya viene preinstalado. La programación en Node-Red, se realiza de forma gráfica mediante nodos. Existen tres tipos de nodos: de entrada, de salida y de funciones (entrada y salida). La configuración de los nodos se produce una vez arrastrados al entorno de trabajo, o bien pulsando sobre ellos. En el demostrador se han utilizado los nodos siguientes: Watson IoT: permite la conectividad con la supervisión de datos en el Cloud a través del protocolo MQTT. Contrib-S7: sirve para leer y escribir en el PLC, es decir permite la comunicación del proceso con la pasarela. Dashboard: empleado para crear y configurar los elementos de la interfaz, como pueden ser gráficas, interruptores, texto, slider, etc. En cuanto a los servicios en la nube se han utilizado: IOT Platform: plataforma para la visualización de datos y control de accesos y roles. La versión gratuita está limitada a 200Mb de flujo de datos por mes natural. Cloudant: es el servicio especializado en almacenamiento de datos no estructurado de IBM.

Internet de las cosas – Integración de sistemas

En el demostrador, con el objetivo de medir los consumos eléctricos y analizar su eficiencia energética, se ha añadido un medidor de corriente y tensión que utiliza electrónica de bajo coste y con amplia conectividad: el medidor PZEM-004T. En esta tarjeta, la corriente se mide mediante un toroide, es decir la corriente alterna que circula por el conductor genera un campo magnético variable induciendo una tensión en el toroide. La medida se transmite mediante el protocolo UART con los pines 5V, GND, RX Y TX desde el medidor hasta un microprocesador ESP32 de Espressif, un módulo de muy bajo coste con unas grandes capacidades y conectividad y un encriptamiento del programa. La información recibida por el micro ESP32 se envía utilizando de nuevo el protocolo MQTT al broker y al servidor local de Node-RED.



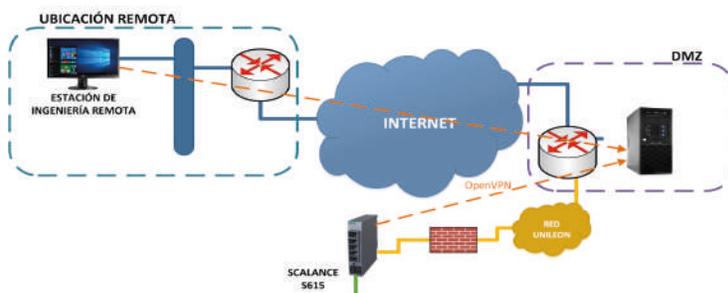
Medida de consumos con electrónica de bajo coste

Industria 4.0

Operación remota

Una de las características de configuración que presenta el router industrial SCALANCE S615 es la posibilidad de realizar conexiones VPN para el acceso a la red interna, asociada a la planta, desde una red externa separada, siempre con cifrados adecuados y en condiciones de seguridad. Con este sistema es posible, por ejemplo, realizar un mantenimiento remoto de una planta industrial sin necesidad de desplazarse hasta ella, e incluso gestionar todas las diversas plantas y factorías de las que disponga una industria desde un único lugar de trabajo. En el momento en el que se abre una conexión VPN desde un equipo remoto, éste podrá trabajar del mismo modo que si estuviera conectado directamente a la misma red del SCALANCE, aunque físicamente se encuentre situado a kilómetros de distancia. Para el establecimiento de las citadas conexiones VPN, en el Demostrador de Industria 4.0 se emplea el software *SINEMA Remote Connect*.

El *SINEMA Remote Connect* es un software, desarrollado por la empresa Siemens, que permite el mantenimiento y gestión de los equipos de manera remota y segura, a través de conexiones de túnel VPN. Mediante una serie de encriptaciones e intercambios de credenciales, se asegura la conexión segura. Con este software, que trabaja con una arquitectura cliente-servidor, cada punto se conecta al servidor de manera independiente. El dispositivo preparado en la planta industrial para realizar esta conexión VPN al servidor es el router SCALANCE S615. Del mismo modo, se conecta también el software del cliente. Una vez que los dos extremos se han conectado con el servidor, si se tienen los permisos adecuados, el servidor enruta las dos conexiones para poder establecer una conexión de punto a punto o extremo a extremo.



Operación remota

Industria 4.0

ACTIVIDADES PROPUESTAS:

Las actividades a realizar cubren las distintas tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 descritas en el apartado anterior.

1. En la primera tarea, relativa a la **Automatización**, se debe realizar la configuración del autómatas programable y periferia descentralizada. El acceso a estos dispositivos se lleva a cabo a través del entorno de TIA Portal.
 - a. Revisar la configuración del hardware del sistema partiendo de una configuración inicial de las entradas/salidas analógicas/digitales, capturadas desde la periferia descentralizada ET200SP.
 - b. Elaborar programas y lazos de control más sencillos, que se ejecuten en el autómatas programable de S7-1516 3PN/DP.
 - c. Realizar la supervisión a nivel local a través del sistema SCADA. El SCADA dispone de diferentes pantallas. En la ventana de inicio se visualiza el proceso con todos sus circuitos, y también se puede trabajar con cada uno de los lazos por separado en las ventanas habilitadas a tal efecto. Configurar, a través de estas pantallas gráficas de histórico, las variables principales de la maqueta (nivel, caudal, temperatura y presión).
2. En la segunda tarea, se debe realizar una supervisión remota del proceso, a través de la *dashboard* de la pasarela inteligente IoT 2040. Para el acceso a la interfaz no es necesaria la instalación de ninguna herramienta adicional, tan solo se requiere de un navegador web con acceso a la red del demostrador.
 - a. Navegar por las distintas ventanas disponibles, como por ejemplo la correspondiente al lazo de nivel o lazo de temperatura y observar el estado de los distintos procesos que se están desarrollando en tiempo real. Además, si el modo remoto está activado desde el sistema SCADA, el usuario puede interactuar con el proceso, enviando diversas acciones de control y visualizando, mediante gráficas, los resultados producidos en el sistema real por esos cambios realizados. El empleo de la pasarela inteligente IoT 2040 permite la **integración de diversos sistemas** presentes en la planta industrial.
3. Empleando el entorno de programación Node-Red como herramienta de convergencia y conectividad, se posibilita el acceso a la información ofrecida por diversos dispositivos y a través de diferentes protocolos de comunicación: profinet, MQTT, HTTP, etc.
 - a. Analizar el código de Node-Red implementado para leer los datos de las variables de I/O de la maqueta y su transferencia a la nube
 - b. En este aspecto, la introducción de **sistemas ciberfísicos (CPS)** de bajo coste juega un papel importante: el demostrador incorpora elementos para la medida de consumos eléctricos que, estableciendo comunicación con la pasarela inteligente a través del protocolo MQTT, permite captar los datos obtenidos y transferirlos a otras plataformas. Analizar el código de Node-Red implementado para la medida de consumos eléctricos
4. En la cuarta tarea se realiza el **almacenamiento y procesamiento de datos en la nube**. Continuando con la estructura del Demostrador de Industria 4.0, los datos leídos mediante la pasarela IoT 2040 son volcados a la base de datos albergada en la nube de IBM.
 - a. Con el uso de este servicio, visualizar el histórico de los datos enviados desde la planta industrial, llevar a cabo búsquedas avanzadas combinando distintas variables y también exportar los datos almacenados en base a diversos criterios. Explorar también otros servicios disponibles en la plataforma de IBM, como el que facilita la ejecución de una máquina virtual albergada en la nube. En esta máquina virtual se instala a su vez el

Industria 4.0

entorno de Node-RED, permitiendo desarrollar un proceso de **computación en la nube** a través de diferentes estrategias de control.

5. En la quinta tarea se utiliza el gemelo digital de la planta industrial. La modelización tridimensional de la maqueta del proceso permite a los alumnos llevar a cabo, por medio de **realidad virtual**.
 - a. Realizar una simulación de la respuesta del sistema frente a una determinada acción de control. Por ejemplo, enviando una consigna del 100% a la bomba, se puede observar la respuesta teórica que tendría el nivel del tanque. Durante la simulación, los datos generados se guardarán en un archivo .csv y se compararán con los datos reales obtenidos del sistema, para calcular así el error observado entre ambos.
 - b. Ejecutar el gemelo digital en un entorno de escritorio, los alumnos exploran a su vez el gemelo digital en su versión para **gafas de realidad aumentada**.
6. La sexta tarea es relativa al ámbito de la **ciberseguridad**, utilizando el router con firewall SCALANCE S615.
 - a. Explorar algunas de las posibilidades de configuración que ofrece y realizar el bloqueo de los paquetes de datos que proceden del exterior de la red del demostrador. Activando o desactivando la regla correspondiente del cortafuegos comprobar, por ejemplo, cómo se impide el acceso a la dashboard del IoT desde cualquier ordenador externo.
7. En la séptima y última tarea se realiza un **mantenimiento remoto** del proceso industrial a través de una **conexión VPN** que gestiona el software SINEMA Remote Connect.
 - a. Ejecutar el cliente SINEMA Remote Connect desde equipos externos o desde la propia intranet de la Universidad de León. Acceder a los distintos dispositivos conectados en la planta industrial, como el autómatas, la estación de ingeniería con el software de programación del PLC, al sistema SCADA o la interfaz de la pasarela inteligente IoT 2040. Una vez establecida esta conexión, supervisar el estado de operación de cada uno de los sistemas implicados en el proceso: en una conexión con el sistema SCADA, se visualizan los avisos y alarmas presentados y se llevan a cabo medidas correctivas para devolver el sistema a un estado de operación normal.

Demostrador para la formación en Industria 4.0

Fecha:	Tarea:	Asignatura:	Carácter:	Páginas:
2020	Industria 4.0	Automatización y Control de Procesos	Individual	16

Industria 4.0

INDUSTRIA 4.0

TÍTULO:

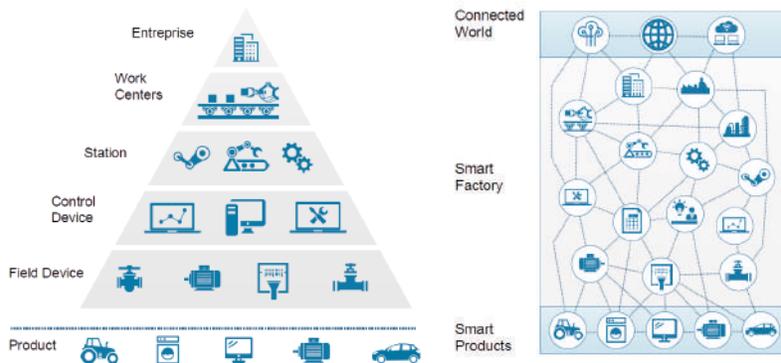
Demostrador para la formación en Industria 4.0

OBJETIVOS:

Conocer las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0.
Manejar herramientas de integración de sistemas y comunicación en el ámbito de la IIoT (Industrial Internet of Things)
Manejar entornos de experimentación representativos de la Industria 4.0

INTRODUCCIÓN:

La revolución que ha supuesto la generalización del uso de sistemas electrónicos/informáticos ha transformado de manera sorprendentemente rápida nuestra sociedad, con respecto a cambios tecnológicos anteriores. La llamada Industria 4.0 es prueba de ello, pues el sistema de producción clásico se ha visto comprometido ante la demanda cada vez más variable e individualizada de productos manufacturados. Este cambio de paradigma hacia uno más dinámico implica el aprovechamiento de sistemas de almacenamiento masivo de datos (*Big Data*), con el objetivo de elaborar complejos sistemas de supervisión y análisis de los mismos, habitualmente alojados en la Nube (*Cloud Computing*), que permiten el desarrollo de complejas simulaciones y el despliegue de realidades aumentadas enfocadas a que los usuarios tengan una perspectiva más amplia del proceso productivo y la realidad en la que se encuentra inmerso el mismo. La evolución de la robótica hacia una tecnología más colaborativa y conectada, la interconexión de diferentes sistemas que operan con el propósito común de lograr la automatización de tareas de diferente naturaleza (dando lugar a los denominados *Sistemas Ciberfísicos*), la necesidad de desplegar tecnologías de comunicación capaces de desarrollar ésta interconexión (*Internet de las Cosas*) y la securización de toda esta estructura de comunicaciones (*Ciberseguridad*) son conceptos nuevos que rompen con la concepción clásica de Industria como elemento aislado, preocupado únicamente por el proceso productivo que desarrolla.



De la Industria 3.0 a la Industria 4.0. Fuente: www.platform-i40.de

Industria 4.0

CÉLULA ELECTRONEUMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LEÓN

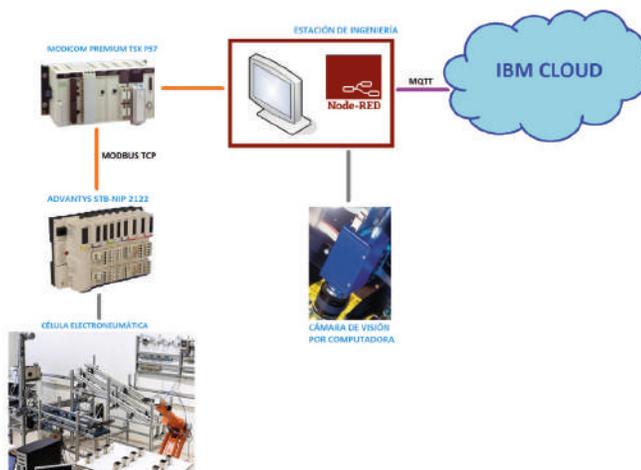
Este sistema incorpora las bases tecnológicas características de la Industria 4.0: conectividad con protocolos estándares, almacenamiento y procesamiento de datos en la nube, *machine learning*, gemelo digital (*digital twin*), modelización de elementos robóticos y ciberseguridad industrial. Este proyecto tiene como punto de partida la célula electro-neumática de la cual dispone el grupo SUPPRESS (Supervisión, Control y Automatización) en los laboratorios de la Universidad de León, la cual dispone de autómatas programables con comunicación *Modbus TCP*, y que será transformada en un *sistema ciberfísico* mediante diferentes tecnologías: *Node-RED*, el cual es un entorno de programación surgido con el objetivo de ser usado en el internet de las cosas, permitiendo desplegar redes de interconexión de sistemas; *IBM Cloud*, el cual proporcionará todos los servicios necesarios para realizar el almacenamiento de datos en la Nube y el procesamiento de los mismos (*Big Data* y *Cloud Computing*); *Python*, el cual tomará un papel importante en el proyecto, pues será utilizado para implementar funciones de visión artificial. A su vez, la operación del sistema ha sido reproducida mediante la elaboración de un gemelo digital, utilizando para ello el motor gráfico *Unity 3D*.



Proceso industrial de la célula electroneumática

Conceptualmente, el demostrador de Industria 4.0 presenta tres partes diferenciadas: la parte de la planta industrial, la nube (Cloud) y las posibles ubicaciones remotas que puedan acceder al sistema. En la figura se puede ver un esquema general de la arquitectura que presenta el demostrador.

Industria 4.0



Demostrador para la formación e investigación en Industria 4.0 de la Universidad de León

En primer lugar, en la zona de planta se localizan el conjunto de dispositivos y equipos que interactúan de forma más directa con el proceso industrial: la periferia descentralizada Advantys STB-NIP 2122, para adquisición de señales de la célula; el autómatas programable Modicon TSX Premium, para el control y comunicación de otros dispositivos con el proceso; y, por último, una estación de ingeniería, la cual tiene una funcionalidad doble: por un lado, dispone de los flujos de Node-RED configurados con el fin de interconectar los diferentes sistemas de la célula, mientras que por otro lado, se encarga del envío y recibimiento de datos con la Nube. El router/firewall Tofino Xenon es el dispositivo que conecta estos equipos y los aísla del resto de la red de la Universidad de León y del exterior, protegiendo el sistema de posibles accesos no autorizados.

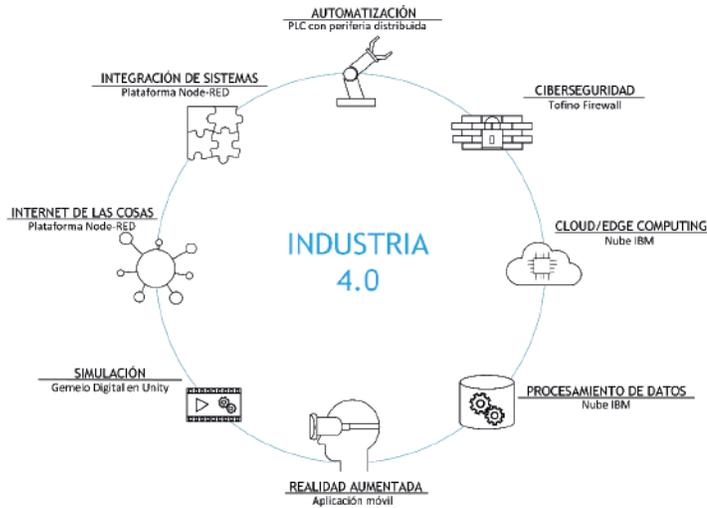
Todos los equipos mencionados se ubican en el laboratorio A4 de la Escuela de Ingenierías. No obstante, la operación del sistema se puede llevar a cabo de manera remota desde cualquier dispositivo alojado dentro de la red del LRA, una vez Node-RED haya sido inicializado en la estación de ingeniería y mediante el acceso al puerto 1880. El programa Unity Pro, utilizado para configurar o cargar diferentes estrategias en el autómatas programable, se ejecuta también desde esta misma estación de ingeniería.

En segundo lugar, IBM Cloud se comunica con la estación de ingeniería vía MQTT. La comunicación con la nube permite implementar funcionalidades de almacenamiento y procesamiento de datos en la Nube, así como el acceso a un sistema de supervisión del estado de la célula desde ubicaciones remotas situadas en el exterior de la red del LRA.

Industria 4.0

TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE INDUSTRIA 4.0 QUE INCORPORA EL DEMOSTRADOR

En el proceso de transformación digital de la industria intervienen un conjunto de tecnologías habilitadoras que logran vincular el mundo físico al virtual para hacer de la industria una industria inteligente. El demostrador de Industria 4.0 de la Universidad de León incorpora estas tecnologías.



Tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0

Automatización

El proceso industrial ha sido desarrollado por el grupo de Investigación en Supervisión, Control y Automatización de la Universidad de León. Se trata de una célula electroneumática para la clasificación de piezas, la cual dispone de un sistema de visión artificial centrado en identificar códigos impresos sobre las distintas piezas, para su posterior procesado. El sistema que forma la célula electroneumática se puede dividir principalmente en cuatro subsistemas:

- El **brazo robótico de ABB**, encargado de cargar las piezas en cada iteración del proceso productivo a simular. Este robot industrial presenta su propio sistema de control programable, encargado de almacenar los programas generados que describen las trayectorias a realizar por el brazo robótico. Mediante una pinza neumática recogerá las piezas dispuestas a lo largo de una superficie para depositarlas en la cinta transportadora.



Robot industrial disponible en la célula electroneumática

Industria 4.0

- La **cinta transportadora**, encargada de transportar las piezas hasta el siguiente subsistema (denominado manipulador). Estas piezas atravesarán una serie de etapas hasta alcanzar el final de la cinta transportadora: inicialmente, serán transportadas hasta situarse frente a una cámara capaz de tomar una imagen de la parte superior de la pieza, lugar donde se encontrará un código alfabético interpretable por un sistema de visión por computadora, con el objetivo de definir el carril de destino al cual debe transportarse la pieza en cuestión. Una vez leído el código, la pieza avanzará y se detendrá frente a una serie de cilindros electroneumáticos que actuarán sobre ella, simulando actividades industriales (torneado, fresado...) que comúnmente sufren diferentes elementos en una cadena de producción. No todos los cilindros dispuestos a lo largo de la cinta transportadora actuarán sobre cada pieza, sino que una secuencia de actuación que comprenda un grupo parcial de los mismos será aplicada sobre cada pieza cargada, hasta que de manera externa se seleccione otra secuencia de actuación.



Cinta transportadora de la célula electroneumática

- El **manipulador**, encargado de transportar las piezas hasta los denominados carriles de almacenamiento. Se trata de un subsistema formado por dos brazos y una pinza neumáticos, cuyo objetivo es el de aprisionar la pieza cuando ésta ha finalizado su trayecto por la cinta transportadora, para así transportarla hasta su carril correspondiente. Esto se consigue debido a que el sistema brazos-pinza se encuentra montado sobre dos tornillos sinfin (uno en posición vertical y otro en posición horizontal), accionados mediante dos motores eléctricos, con el objetivo de desplazar todo el manipulador de manera horizontal y vertical.



Manipulador de la célula electroneumática

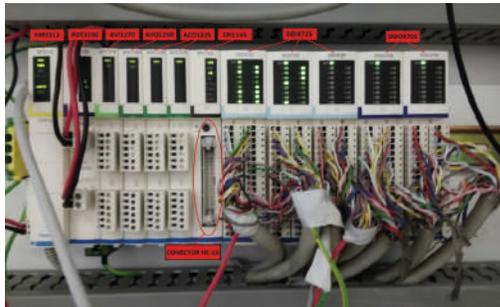
Industria 4.0

- Los **carriles de almacenamiento**, donde se depositarán las piezas en función del código impreso leído en la cinta transportadora.



Carriles de la célula electroneumática

Las señales presentes en la célula son todas digitales, y están centralizadas en una periferia Advantys STB-NIP 2122 en la que se encuentran los módulos de entradas/salidas, y que se comunica vía Modbus TCP/IP con un PLC Modicon TSX Premium.



Periferia descentralizada

Módulo	Unidades	Descripción
NIP 2221	1	CPU de la periferia.
PDT 3000	1	Módulo de alimentación
AVI 1270	1	Módulos de entradas analógicas.
AVO 1250	1	Módulos de salidas analógicas.
ACO 1225	2	Módulo de salidas digitales de corriente.
EPI 1145	1	Módulo para aplicaciones especiales.
DDI 3725	3	Módulos de alta densidad de entradas digitales.
DDO 3705	2	Módulos de alta densidad de salidas digitales.

Módulos de la periferia descentralizada

Industria 4.0



Autómata programable

Módulo	Unidades	Descripción
TSX PSY2600	1	Módulo de alimentación
TSXP57254	1	CPU del autómata
TSX ETY5103	1	Módulo de comunicaciones
TSX DSY32T2K	1	Módulo de salidas digitales

Módulos del autómata

Además de comunicarse con la periferia, el PLC se comunica con dos variadores de frecuencia Altivar 71, también vía Modbus TCP/IP, que se utilizan para controlar los motores asociados a la cinta transportadora y al manipulador. El robot industrial trabaja de forma independiente del PLC, teniendo su propio sistema de control y su propia estrategia, programada en RAPID. La célula dispone también de un sistema de señalización y seguridad para el entorno de trabajo, basado en una sirena, varias balizas asociadas a la cinta transportadora y al manipulador, así como una baliza de propósito general y un sensor de barrera fotoeléctrica conectado a un relé para que, en caso de que se interrumpa la barrera, el relé se abra, requiriéndose su restablecimiento para reanudar el proceso de producción. El sistema completo dispone de un total de 75 señales digitales, repartidas en 50 variables de entrada y 25 variables de salida.

Ciberseguridad

En el ámbito de la ciberseguridad, la célula electroneumática incorpora un firewall Tofino, especialmente orientado al control del tráfico de comunicaciones en redes de ámbito industrial, y que permite proteger éstas frente a ataques externos de usuarios no autorizados. El equipo dispone del software Tofino Configurator, que facilita considerablemente su administración y parametrización desde la red.

El firewall propio del sistema será fundamental para la ciberseguridad, con la opción de realizar diversos filtrados de los paquetes que se intercambian entre los distintos puertos del dispositivo, permitiendo pasar solo aquellos paquetes que se consideran seguros y de confianza: puede realizar filtrados por distintos protocolos de comunicación, dejando pasar sola y exclusivamente los necesarios, o bien por reglas IP, según el origen o destino de los paquetes, entre otros. El más interesante y empleado de cara

Industria 4.0

a este proyecto es el filtrado por reglas IP, que define los paquetes que se aceptarán o serán descartados en función de la red de origen, la red de destino y la IP o conjunto de IPs de las que proceden o a las que van destinados. Así mismo, se podrá realizar también un filtrado por protocolos de comunicaciones, como puede ser Modbus.

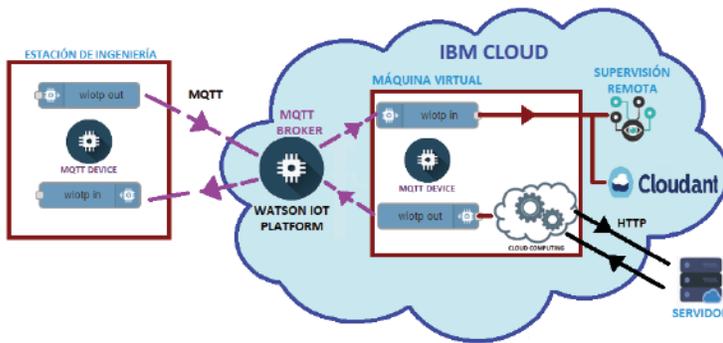


Funcionamiento del tofino en la red industrial

Procesamiento de datos y computación en la nube

Cada vez es más común que las empresas alojen datos en la nube o utilicen máquinas virtuales para diversos usos. Esta estrategia tiene grandes ventajas como el soporte las 24h del día y una alta seguridad y privacidad de los datos. Entre las opciones comerciales disponibles se encuentran AWS (Amazon Web Services), Google Cloud Platform Azure, Ubidots e IBM Cloud son las más famosas por la cantidad de servicios gratuitos que incorporan. Amazon Web Services ofrece un amplio conjunto de herramientas y servicios dentro del marco del *Cloud Computing*. La característica principal que lleva a determinadas entidades a decantarse por AWS es su antigüedad frente a otras opciones, lo cual dota a AWS de una cierta madurez, asociada a una mayor seguridad, estabilidad, y oferta de servicios suministrados. Es utilizada por empresas tan variadas como la NASA o el FC Barcelona, lo que deja en evidencia su carácter polivalente. Google Cloud es una nube que contiene servicios los cuales funcionan en la misma infraestructura que utiliza Google para dar soporte por ejemplo a su buscador. Destaca por los diversos servicios relacionados con Big Data que ofrece, así como servicios relacionados con inteligencia artificial: machine learning, traducción en tiempo real, creación de textos a partir de archivos de audio utilizando redes neuronales para obviar ruidos, etc. dado que los algoritmos empleados en estos servicios cuentan con autoaprendizaje, permiten mejorar la calidad del servicio ofertado constantemente, por ejemplo al utilizar las personas el servicio de traducción de Google día a día. Azure es la nube de Microsoft que está especializada en la gestión de las máquinas virtuales y está orientada principalmente a programadores. Por ello, su interfaz es bastante compleja y poco intuitiva para el público general. Ubidots es un servicio en la nube para la visualización de los datos en gráficas. Además, cuenta con un control de acceso y roles de usuarios. Por último, IBM Cloud ofrece servicios orientados a la industria y una arquitectura completa, desde máquinas virtuales orientadas a la conectividad con otras aplicaciones o servicios. Existe una cantidad ingente de documentación relacionada con los servicios que ofrecen de IBM Cloud. La conectividad es sencilla con la estación de ingeniería mediante el protocolo MQTT.

Industria 4.0



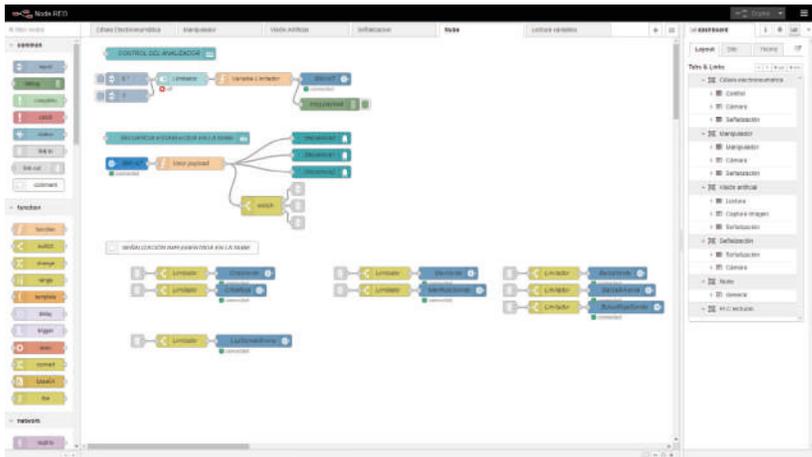
Comunicación entre IBM Cloud y la Estación de Ingeniería

IBM Cloud ofrece los 3 servicios disponibles en la red: infraestructura como servicio (IaaS), software como servicio (SaaS) y plataforma como servicio (PaaS). Infraestructura como servicio implica que un proveedor proporciona a los clientes acceso de pago por uso al almacenamiento, las redes, los servidores y otros recursos informáticos en la nube. Software como servicio proporciona el software y las aplicaciones a través de internet. Los usuarios se suscriben al software y acceden a él a través de la web o las APIs del proveedor. Por último, plataforma como servicio significa que el proveedor de servicios ofrece acceso a un entorno basado en cloud en el cual los usuarios pueden crear y distribuir aplicaciones. El proveedor proporciona la infraestructura subyacente.

La arquitectura diseñada en el demostrador hace pasar todo el tráfico por la plataforma Watson IoT Platform de IBM. Los datos se envían desde la estación de ingeniería hacia el Cloud mediante el protocolo MQTT. Una vez llegan ahí los datos se pueden visualizar con diferentes paneles y enviar a los diferentes servicios de la nube: Cloudant, análisis de datos, Cloud computing, etc. A nivel local, los datos que genera la célula electroneumática se recogen a través de las tarjetas I/O de la periferia y, mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP, se envían al PLC maestro con una latencia de 100 ms. Una vez que se dispone de estos datos en la memoria del PLC, un flujo de Node-RED desplegado en la estación de ingeniería lee dicha información y la transfiere a la nube. El dato se envía solamente si un sistema habilitador ha sido activado desde el dashboard correspondiente de la estación de ingeniería, ya que el tráfico de datos con Watson IOT Platform tiene un límite mensual en su versión gratuita.

La programación de la comunicación entre la estación de ingeniería y la nube se realiza utilizando el software Node-RED. Este software se puede instalar en cualquier plataforma, ya sea Linux, Windows o electrónica de bajo coste como Raspberry Pi, en el que ya viene preinstalado. La programación en Node-Red, se realiza de forma gráfica mediante nodos. Existen tres tipos de nodos: de entrada, de salida y de funciones (entrada y salida). La configuración de los nodos se produce una vez arrastrados al entorno de trabajo, o bien pulsando sobre ellos. En el demostrador se han utilizado los nodos siguientes: Watson IoT: permite la conectividad con la supervisión de datos en el Cloud a través del protocolo MQTT. Contrib-modbustep: sirve para leer y escribir en el PLC, es decir permite la comunicación del proceso con la pasarela. Dashboard: empleado para crear y configurar los elementos de la interfaz, como pueden ser gráficas, interruptores, texto, slider, etc. En cuanto a los **servicios en la nube** se han utilizado: **IOT Platform**: plataforma para la visualización de datos y control de accesos y roles. La versión gratuita está limitada a 200Mb de flujo de datos por mes natural. **Cloudant**: es el servicio especializado en almacenamiento de datos no estructurado de IBM. **Node-RED**: corriendo en una máquina virtual, nos permite implementar funcionalidades de *Cloud Computing*, mediante el procesamiento de datos de terceros, que afectarán al proceso productivo.

Industria 4.0



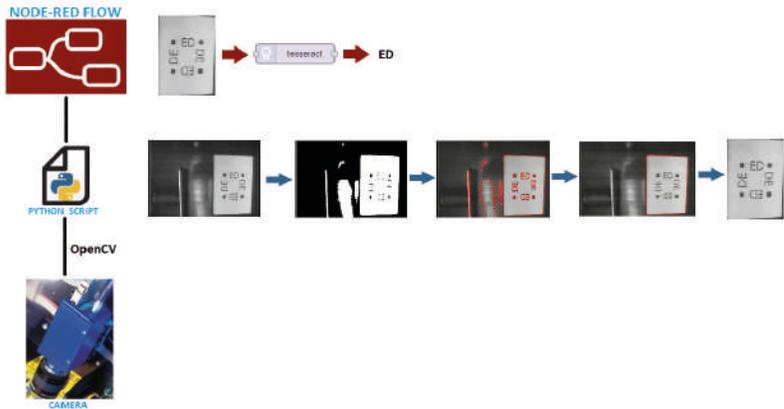
Entorno de programación para la comunicación con la nube de IBM

Procesamiento de imágenes y Edge Computing

El *Edge Computing* sigue una filosofía similar a la del *Cloud Computing*, ya que se fundamenta en recabar y procesar datos de un proceso productivo o del entorno donde éste se encuentra, con el objetivo de optimizar el mismo. No obstante, y debido al volumen de datos generados en una arquitectura de comunicaciones de este nuevo paradigma industrial, es una ventaja clara la alternación de sistemas centralizados y distribuidos de procesamiento de estos datos, con el objetivo de minimizar las posibilidades de congestión de la red de comunicaciones. A tal fin, volúmenes de datos grandes (como los generados al trabajar con imágenes digitales) son procesados de manera más correcta en estos sistemas distribuidos.

La célula neumática tiene un sistema de clasificación de piezas basado en la identificación de códigos impresos, mediante un reconocimiento visual de los mismos, gracias a una videocámara. Para implementar el sistema de procesamiento de imágenes se ha configurado un flujo específico de Node-RED directamente en la estación de ingeniería, el cual trabaja de manera coordinada con un script de *Python*: el script es el encargado de comunicarse con la videocámara y ordenar la captura de la imagen, aplicándole un preprocesamiento previo. La imagen preprocesada es enviada entonces a la estación de ingeniería, donde un sistema de procesamiento basado en el nodo Tesseract y la modificación del contraste de la imagen preprocesada devolverá el código impreso en la pieza (o un mensaje de error si este ocurriese). La imagen adjunta ilustra este procesamiento mencionado:

Industria 4.0

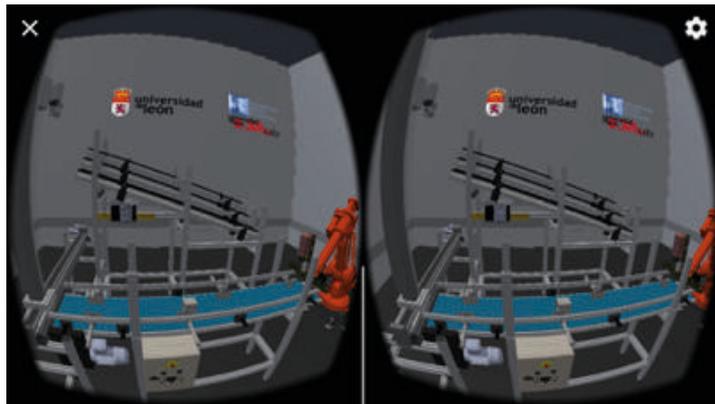
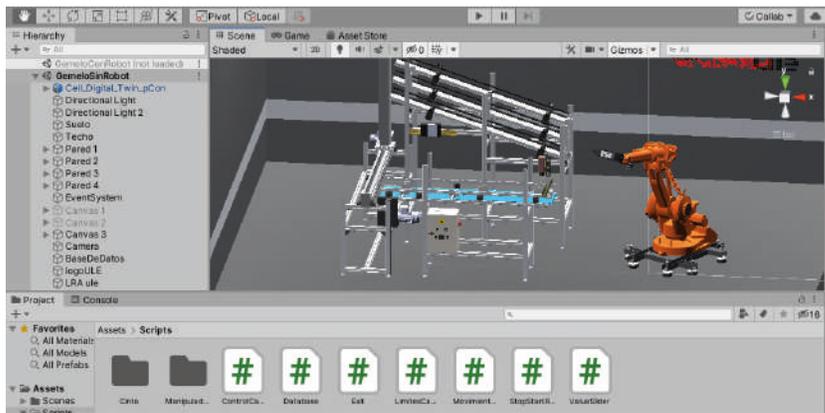


Sinergia existente entre el script de Python y el flujo de Node-RED

Simulaciones – Digital Twin – Realidad Aumentada

Un gemelo digital es un modelado virtual realista de un sistema, un producto o un proceso industrial. El gemelo digital del demostrador en Industrial 4.0 se ha desarrollado utilizando el software Unity 3D. Dicho software, pese a estar pensado inicialmente para el desarrollo de videojuegos, cumple perfectamente con las características técnicas que son requeridas para la implementación de un gemelo digital industrial. Para la realización del gemelo digital del demostrador, se ha importado un modelo tridimensional, realizado con AutoCAD, que representa la célula electropneumática descrita. A dicha célula se le ha dotado de dinamismo mediante las opciones gráficas que incorpora el propio Unity y se ha simulado el comportamiento dinámico de las distintas variables de la misma mediante scripts programados en C#. El gemelo digital, además de programarse para Windows, Linux e IOS, también se ha implementado para la plataforma de Android en dos versiones, una con realidad virtual (VR) y la otra sin ella.

Industria 4.0



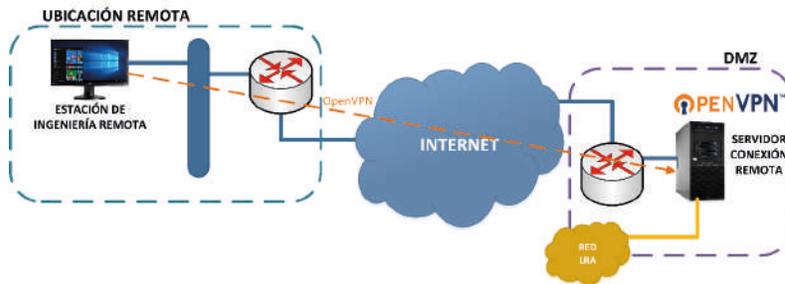
Digital Twin del demostrador

Operación remota

Con el objetivo de permitir accesos remotos, se han habilitado conexiones VPN para el acceso a la red del LRA desde una red externa separada, siempre con cifrados adecuados y en condiciones de seguridad. Las VPN también son conocidas como redes definidas por software, ya que no existe una red física que comunique directamente dos puntos, sino que vía software se configura el canal de comunicaciones entre dos accesos autorizados, utilizando Internet como soporte para la comunicación. Con este sistema es posible, por ejemplo, realizar un mantenimiento remoto de la célula sin necesidad de desplazarse hasta ella, e incluso gestionar las diversas plantas y factorías de las que disponga una industria desde un único lugar de trabajo. En el momento en el que se abre una conexión VPN desde un equipo remoto, éste podrá trabajar del mismo modo que si estuviera conectado directamente a la misma red, aunque físicamente se encuentre situado a kilómetros de distancia. Para el establecimiento de las citadas conexiones VPN, en la célula electroneumática se emplea el software OpenVPN, una herramienta de conectividad basada en software libre: SSL (Secure Sockets Layer) y VPN (Virtual Private Network) o

Industria 4.0

red virtual privada. OpenVPN ofrece conectividad punto a punto, con validación jerárquica de usuarios y host conectados remotamente. Está publicado bajo la licencia GPL, de software libre.



Operación remota

Industria 4.0

ACTIVIDADES PROPUESTAS:

Las actividades a realizar cubren las distintas tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 descritas en el apartado anterior.

1. Para comenzar, se realizará una visita a las **instalaciones físicas** en las que se ubica la célula electroneumática, analizando y comprendiendo las distintas partes y secuencias de las que se compone el proceso completo. En este punto, se desarrollará una demostración práctica, en tiempo real, del funcionamiento del sistema.
2. En la segunda tarea, relativa a la **Automatización**, se analiza y estudia la configuración del autómatas programable y periferia descentralizada para la adquisición de señales. El acceso a estos dispositivos se lleva a cabo a través del entorno de Unity Pro.
 - a. Visualizar la configuración del hardware del sistema partiendo de una configuración inicial de las entradas y salidas, capturadas desde la periferia descentralizada.
 - b. Analizar brevemente el funcionamiento de las estrategias y secuencias de automatización implementadas en la célula electroneumática, comprendiendo su papel en el proceso completo. ¿En qué lenguaje de programación están desarrolladas?
3. En la tercera tarea, se debe realizar una **supervisión** del proceso, a través de la *dashboard* programada en el entorno Node-RED. Para el acceso a la interfaz no es necesaria la instalación de ninguna herramienta adicional, tan solo se requiere de un navegador web. Navegar por las distintas ventanas disponibles, como por ejemplo la de visión general del proceso, la correspondiente al manipulador, al procesamiento de imágenes o señalización. Se debe tener presente que el desarrollo de un entorno de estas características permite la **integración de diversos sistemas** existentes en la planta industrial.
4. Empleando el entorno de programación Node-RED como herramienta de **Edge Computing**, se da paso a la cuarta actividad desarrollada, orientada al procesamiento y análisis de las imágenes de las piezas. Para la adquisición de estas imágenes del proceso, se integrará, además, un pequeño script programado en Python. Para familiarizarse con estas herramientas se propone:
 - a. Analizar brevemente el código de Node-RED implementado para adquirir y procesar las imágenes obtenidas de la célula electroneumática.
 - b. Realizar un ejemplo práctico en el que se capte una de las imágenes correspondientes al proceso y en el que se visualicen los resultados de análisis obtenidos en el entorno de Node-RED.
 - c. Acceder al dashboard local del **flujo “Nube”**, generar un **archivo CSV** con los tiempos de proceso capturados, y descargar el archivo. Comparar los datos de este CSV con los datos almacenados en la Nube y con los datos generados en la simulación anterior. Comprobar el error presente en la simulación.
5. En el quinto ejercicio, se abordarán los diferentes elementos de **ciberseguridad** de los que dispone la célula electroneumática. Para ello se trabajará con el firewall Tofino, que permitirá realizar un filtrado del tráfico de red en función de distintas reglas.
 - a. Comprobar el funcionamiento de las reglas IP, realizando un ping al autómatas de la célula electroneumática ¿Se produce una respuesta? ¿Qué pasa si se modifica esa regla?
 - b. Comprobar el efecto que se produce en el funcionamiento de la célula cuando se rechazan los paquetes del protocolo Modbus. ¿La célula puede arrancar correctamente cuando se envía la orden desde la interfaz de supervisión?

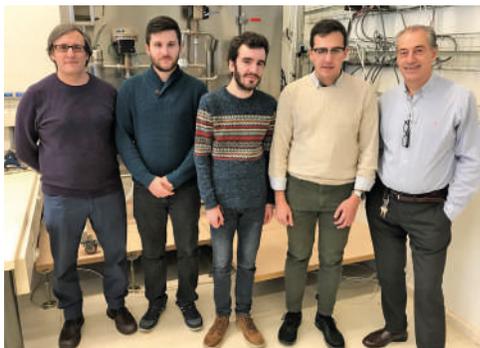
Industria 4.0

6. En la sexta tarea se trabajará con el **gemelo digital**. Este se trata de la modelización digital de la célula que permite al alumno poder interactuar con el sistema de la misma manera que si lo hiciese con el sistema físico.
 - a. Crear la carpeta **LogsGemeloCelula** en C:\, será donde se almacenen los archivos **CSV** generados.
 - b. Explorar la aplicación de escritorio observando los cambios en el proceso en función de las diferentes secuencias seleccionadas, así como el interactuar con los diferentes puntos de vista (cámaras) y velocidades.
 - c. Almacenar en un **archivo CSV** los tiempos de simulación correspondientes al código impreso en la pieza y la secuencia de actuación de los cilindros especificada en clase.
 - d. Hallar los tiempos teórico y real que tarda la pieza en recorrer la cinta y el manipulador en transportarla, y comparar estos tiempos teórico y real entre sí.
 - e. Visualizar el gemelo digital en un entorno de **realidad virtual** para la plataforma Android a través del uso de gafas VR.
7. En la séptima y última tarea se trabajará con la nube de IBM para el **almacenamiento y procesamiento de datos**. Atendiendo a la estructura presentada anteriormente, la comunicación con la nube se realiza desde la estación de ingeniería mediante el protocolo MQTT, y los datos son volcados a la base de datos que hay en la nube.

Inicio (/) • Noticias (/noticias) •

Premiado por SIEMENS un proyecto de la ULE sobre automatización y digitalización en Industria 4.0

04 Abr, 2019



Fue presentado por el grupo de investigación SUPPRESS junto con un equipo de tres estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industrial, Electrónica y Aeroespacial.

Miembros del Grupo de Investigación SUPPRESS (Supervisión, Control y Automatización) de la Universidad de León (ULE), junto con un equipo de 3 estudiantes del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, formado por Raúl González Herbón, José Ramón Rodríguez Ossorio y Alberto Martínez Gutiérrez, han ganado el Premio SIEMENS: 'Automatización y Digitalización. Industria 4.0', convocado a través del Comité Español de Automática, en su edición correspondiente al año 2019. El proyecto premiado se titula 'Entorno industrial de experimentación para investigación en Industria 4.0', y ha recibido como premio una dotación en equipamiento tecnológico de última generación para la ULE.

"Con dicha dotación, -explica el profesor Manuel Domínguez González-, se desarrollará a lo largo del año 2019, un demostrador de Industria 4.0 que se incorporará a los laboratorios del grupo de investigación y a la plataforma tecnológica de su laboratorio remoto en automática (LRA-ULE), con el fin de facilitar su uso en entornos de investigación y experimentación, tanto en modo local como remoto".

Hay que apuntar además que el proyecto premiado será presentado por el citado grupo de investigación de la ULE en las 'XL Jornadas Nacionales de Automática' que se celebrarán en la Universidad de La Coruña, Campus de Ferrol, durante los días 4, 5 y 6 de septiembre, en la Escuela Universitaria Politécnica de Ferrol.

■ EQUIPAMIENTO DE REFERENCIA EN INDUSTRIA 4.0

El demostrador que se va a desarrollar incorporará las bases tecnológicas características de la Industria 4.0: conectividad con protocolos estándares, almacenamiento y procesamiento de datos en la nube, machine learning, gemelo digital (digital twin) y ciberseguridad industrial. "Cuando esté finalizado, -explica Manuel Domínguez-, la ULE dispondrá de un equipamiento de referencia en Industria 4.0 en el que se podrán desarrollar actividades de investigación y de formación en los diferentes ámbitos relacionados con esa industria"



En el proyecto se toma como punto de partida una planta piloto industrial del grupo de investigación, que está ubicada en la Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial de la ULE, para transformarla en un sistema ciberfísico de la Industria 4.0

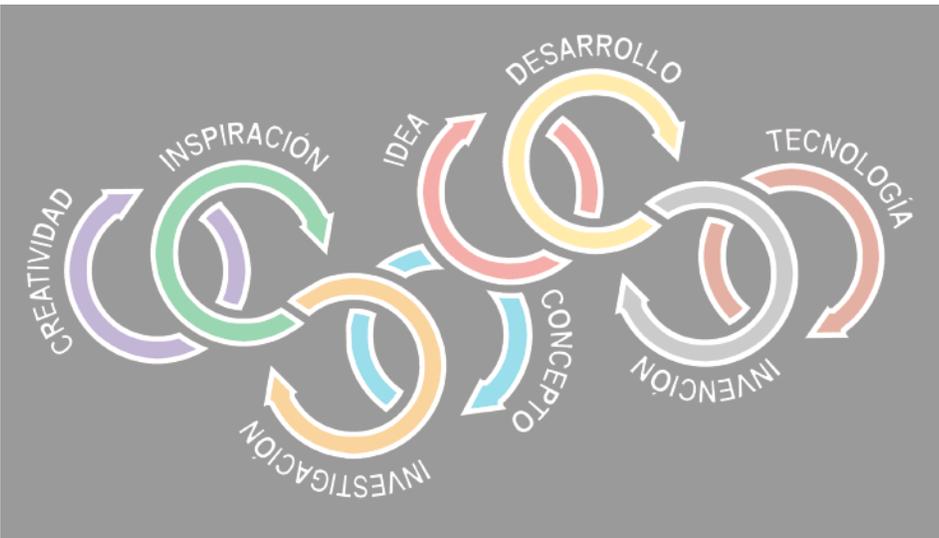
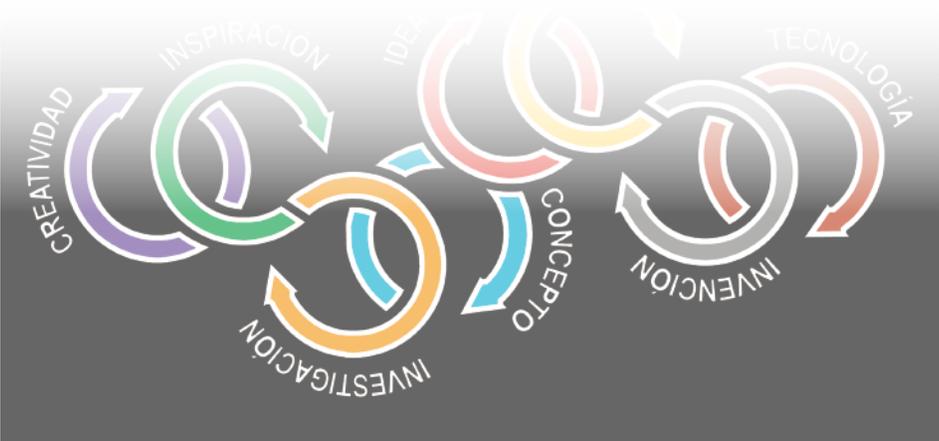
Premiado por SIEMENS un proyecto de la ULE sobre automatización y digitalización en Industria 4.0 | Universidad de León

Hay que apuntar finalmente que se incorporarán autómatas programables de última generación de SIEMENS, con comunicación PROFINET. La ciberseguridad industrial estará reforzada mediante firewalls industriales. Toda la información vinculada al proceso será transferida a la nube a través de pasarelas inteligentes IIoT. Además, incorporará la funcionalidad de operación remota, mediante un acceso seguro, así como el análisis inteligente de los datos generados y almacenados en la nube. Asimismo, el proceso industrial será reproducido virtualmente mediante un gemelo digital.

(Imágenes: 1.- Equipo autor del proyecto. De izquierda a derecha: Juan José Fuertes Martínez, Raúl González Herbón, José Ramón Rodríguez Ossorio, Alberto Martínez Gutiérrez y Manuel Domínguez González. El primero y el último son profesores y los tres del medio alumnos de la ULE 2.- Ilustración del Premio Siemens)

Actualidad

- ▶ Noticias (</actualidad/noticias>)
- ▶ Noticias de investigación (</actualidad/noticias-de-investigacion>)
- ▶ Convocatorias (</actualidad/convocatorias>)
- ▶ Convocatorias urgentes (</actualidad/convocatorias-urgentes>)
- ▶ Becas (</actualidad/becas>)
- ▶ Cursos (<http://fgulem.unileon.es/euniversitaria/oferta.aspx?tipo=1&m=3&IDP=1>)
- ▶ Videoteca (<http://videos.unileon.es/>)
- ▶ Deportes y ocio (</actualidad/deportes-y-ocio>)
- ▶ Sugerencias de difusión (<https://agenda.unileon.es/sugerencias/nueva>)





Recoge la Mención Honorífica el Profesor Jorge de Juan Fernández

MENCIÓN HONORÍFICA

*“Letras de esperanza”
Aprendizaje-Servicio para superar
la ruptura intergeneracional y acompañar la soledad*

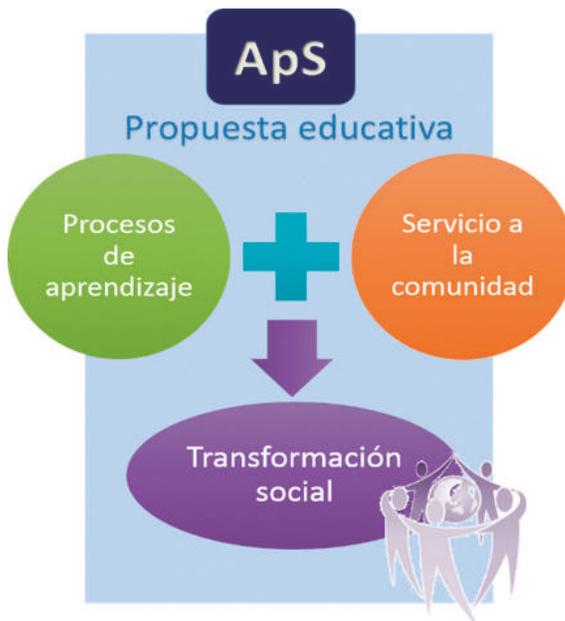
Coordinador:

Jorge de Juan Fernández
Departamento de Psicología, Sociología y Filosofía
jjuaaf@unileon.es

*“Estuve desnudo y me vestisteis;
enfermo y me visitasteis;
en la cárcel y vinisteis a verme”
(Mt 25, 36)*

1. Justificación

En el contexto del EEES la universidad actual no debe orientar el aprendizaje únicamente a la adquisición de una serie de competencias profesionales, sino que es imprescindible que haga uso de todos sus medios para obtener también competencias personales y cívicas. El Aprendizaje Servicio (ApS) es una metodología que además de ser efectiva para optimizar la calidad del aprendizaje académico, resulta idónea para formar personas y profesionales socialmente responsables, algo aún más relevante si cabe en el caso del maestro, dada la importancia que tiene a la hora de procurar una formación integral en los alumnos. Por medio del ApS el estudiante adquirirá contenidos curriculares al tiempo que presta un servicio a la sociedad. Por ello, el receptor es doble y el beneficio mutuo. Este servicio que el alumnado aporta ha de ser de calidad, dado que tiene que responder a necesidades reales de quienes son destinatarios del mismo, teniendo así un auténtico impacto. En esta línea, se ha considerado como una necesidad fomentar espacios de diálogo encaminados a romper la distancia intergeneracional, al mismo tiempo que constituyan una herramienta para paliar la soledad incrementada por la pandemia de la Covid-19.



El diálogo intergeneracional produce una aproximación cultural entre edades diferentes, construyendo nuevas vías de entendimiento a través de la aceptación del avance de la edad como una etapa más. Se trata de un importante reto para la sociedad y, por tanto, para la educación, ya que para poder llegar a comprender y respetar el modo de pensar y de actuar del otro es necesario promover espacios de encuentro donde se potencie el intercambio de valores entre distintos.

En las últimas décadas hemos visto en el espacio educativo una mayor sensibilización y compromiso en promover una sociedad más plural, justa e igualitaria. Dentro de esta idea no se debe olvidar a las personas mayores, ya que estas pueden sufrir fácilmente exclusión social. Esta necesidad se ve apremiada si se tienen en cuenta los datos del padrón continuo del INE en 2021, según los cuales la edad media española se sitúa en 44,5. En el mapa de la nación destaca la provincia de León por su envejecimiento, con una media de edad de 50,1. La tendencia augura que la media irá creciendo cada vez más en el futuro, lo cual se traduce en que la diferencia generacional cada vez estará más acentuada. Si no se proponen desde ya métodos que enseñen a vivir de manera conjunta, la convivencia entre mayores y jóvenes puede ser escasa y el diálogo inexistente.

Fomentar este encuentro intergeneracional puede constituir a su vez una potente herramienta para combatir la soledad que se acentúa de forma significativa en el momento presente. Con el objetivo de frenar la emergencia sanitaria provocada por la pandemia del Coronavirus se habían suspendido muchas actividades que fomentaban la socialización presencial. Esto ha supuesto un serio problema teniendo en cuenta el elevado número de personas que viven solas en sus viviendas. Conforme a los últimos datos del número de hogares unipersonales de la Encuesta Continua de Hogares (ECH) del INE (2020), en España hay 2.131.400 personas mayores de 65 años que viven solas. Para esta población, el aislamiento preventivo ante la pandemia se ha convertido en muchos casos en un problema de salud pública, degenerando en estados depresivos.

Al tomar conciencia de estos problemas se determinó la puesta en marcha de un proyecto de ApS encaminado a romper la distancia intergeneracional, al mismo tiempo que procurara paliar la soledad de un grupo de personas mayores pertenecientes al colectivo de “la soledad no deseada”.

2. Objetivos

La utilización de la metodología ApS propiciará que los alumnos adquieran de forma estimulante las siguientes competencias generales propias de la asignatura:

- Diseñar y regular espacios de aprendizaje en contextos de diversidad y que atiendan a la igualdad de género, a la equidad y al respeto a los derechos humanos que conformen los valores de la formación ciudadana (B1006).

- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética (C3).
- Conocer la vivencia de la religiosidad a lo largo de la historia y su relación con la cultura (A9024).

La realización de esta actividad otorgará a los alumnos una mayor conciencia de la trascendencia y repercusión social de su futuro trabajo como profesores.

La autoevaluación de la práctica llevada a cabo servirá para que el alumno se replantee el compromiso ciudadano de su profesión y reflexione acerca del desarrollo personal y formativo que ha conseguido con la actividad.

En cuanto a los ancianos, se sentirán estimulados al haber sentido que son importantes -al recibir la comunicación interesándose en ellos - y útiles para la sociedad -al emitir una comunicación brindando su experiencia-. Al mismo tiempo se convertirán en un canal para divulgar los beneficios sociales derivados de las acciones desarrolladas.

3. Metodología

Los pasos seguidos al aplicar la metodología Aprendizaje-Servicio han sido:

- Identificar una necesidad real a la que es posible dar respuesta con los medios al alcance de los estudiantes.
- Diseñar un plan de acción y crear alianzas necesarias para dar respuesta a las necesidades detectadas.
- Ejecutar el proyecto.
- Evaluar el impacto causado, midiendo el cambio personal generado, el aprendizaje, el desarrollo de competencias y la continuidad, entre otros.
- Celebrar y reconocer el trabajo, compartiendo las sensaciones y las emociones que suponen el ayudar a la comunidad y trabajar en lo colectivo.

El ApS se concretó en la redacción de una carta y en la elaboración de un vídeo, tanto por parte de los estudiantes como de los mayores. Por ello, se impuso como requisito previo para ambos grupos la firma de un formulario en el que se comprometían a respetar la Ley de Protección de Datos (Ley Orgánica 3/2018). El contenido esencial de la comunicación de los estudiantes debía ser un mensaje de ánimo y esperanza para los mayores. Por su parte, en la respuesta de estos se tenía que ofrecer consejos para el futuro de los estudiantes, basados en su propia experiencia vital. La utilización del vídeo se presentaba como una herramienta ideal para personalizar el mensaje y poner rostros por ambas partes.

En la metodología utilizada un elemento básico es el contacto con entidades externas al centro educativo para llevar a cabo el proyecto en cuestión. En nuestro caso, establecimos contacto con Cáritas Agrupación Parroquial “San José”,

el órgano caritativo de seis parroquias ubicadas al nordeste de la ciudad de León (España) y su alfoz, que cuenta con una población aproximada de 23.000 habitantes. Esta institución desarrolla, entre otros proyectos, uno que bajo el nombre “Soledad Cero” tiene por principal objetivo paliar el aislamiento y las carencias afectivas de las personas que necesitan escucha y comprensión.

La clase se dividió en 30 grupos, que coincidían con el número de los mayores a los que se iban a dirigir. Los estudiantes tan sólo tenían dos datos respecto a su destinatario: el nombre y el conocimiento de una problemática que padecían: la soledad. Por su parte, los mayores recibieron sus cartas en la sede de Cáritas, donde también se les mostró el vídeo recibido y se les grabó su respuesta. Con ello poníamos solución al problema de la brecha digital que padecían algunos de ellos. Posteriormente las respuestas (cartas y vídeos) de los mayores fueron entregadas por la trabajadora social de Cáritas al profesor de la asignatura, quien se encargó de distribuirlas entre los estudiantes.



Sede de Cáritas Agrupación Parroquial “San José”, institución con la que se colaboró para la realización del proyecto

Como herramienta de trabajo principal se optó por un diario en el que tenían que registrar cada una de las fases del proyecto y resumir las impresiones del proyecto, acompañadas de una valoración personal. Este instrumento didáctico tenía como fin explicar en qué ha consistido la sesión de trabajo (qué han hecho y cómo) y la valoración global de la misma potenciando la reflexión sobre su propio aprendizaje. Otra de las cuestiones fundamentales del trabajo era el fomento de la responsabilidad, puesto que cada grupo de alumnos debía responsabilizarse de su diario para poder trabajar en cada una de las sesiones y para su posterior evaluación.

Tras la realización y ulterior evaluación del proyecto llevado a cabo, los participantes junto con el profesor de la asignatura en la que se realizó esta actividad, tuvieron una sesión online de 2 horas a través de Google Meet®. En ella se proyectaron los vídeos-respuesta de los ancianos a los que pudieron poner rostro y también expusieron sus impresiones, los principales beneficios obtenidos y la difusión que dieron en sus redes sociales al trabajo realizado.



Correspondencia emitida por los estudiantes

4. Participantes

El proyecto fue desarrollado por 90 estudiantes de la Universidad de León matriculados en 3º del Grado en Educación Primaria en el curso 2020/2021 que cursaron la asignatura Religión católica y su pedagogía II. La edad de los participantes oscilaba entre los 20 y los 39 años, con una media de 21,7 años y una desviación típica de 3,5. En cuanto al sexo 63 son mujeres, mientras que 27 son varones.

En la organización del proyecto, además del docente responsable de la asignatura, se precisó la cooperación de la Trabajadora Social de la institución con la que se colaboró (Cáritas AP “San José”), Dña. Aída Vasco Velado, quien facilitó la coordinación de todos los usuarios del programa que esta entidad desarrolla bajo la denominación “Soledad Cero”, y que fueron los destinatarios de las cartas y vídeos. En los casos en los que se precisó ayuda para la redacción de las cartas o la grabación de los vídeos de las personas mayores, colaboraron en esta tarea una serie de voluntarios de la institución mencionada.



Algunos de los estudiantes que participaron en el proyecto

5. Temporalización

El proyecto se desarrolló en cinco sesiones que tuvieron lugar dentro de las clases de la asignatura, excepto la tercera y la cuarta que tenían un carácter más individual:

1ª sesión: explicar la metodología ApS (1.30 hs. en el aula)

2ª sesión: identificar el problema a abordar y diseñar el proyecto (1.30 hs. en el aula)

3ª sesión: ejecución, consistente en la redacción de la carta y grabación del vídeo (1.30 hs. trabajo por grupos fuera del aula)

4ª sesión: evaluación (0.30 hs. respuesta individual fuera del aula)

5ª sesión: puesta en común y celebración (2.00 hs. en el aula)

6. Resultados

Los objetivos propuestos con esta experiencia de innovación se han cumplido en su totalidad y de manera satisfactoria. La experiencia ha sido evaluada cuantitativamente a través de un cuestionario de 31 preguntas que se diseñó para este proyecto. La recolección de datos se realizó por medio de la herramienta Google Forms©.

En las cuestiones se abordaron los progresos personales y académicos en conocimientos y competencias, la satisfacción de los alumnos, emanada de la existencia de espacios para reflexionar sobre este aprendizaje, la relación de la teoría con la praxis, el valor social de la actividad y la experiencia del trabajo en equipo.

La respuesta es muy buena en todos los ítems, la media de respuesta general es de 4,45 sobre 5. Destaca la valoración que realiza el alumnado sobre la oportunidad que la actividad les ha otorgado para contribuir al bien común ($M=4,78$) y la consideración de que la universidad debe facilitar canales para participar en la sociedad ($M=4,77$).

En cuanto a los resultados de la valoración que los estudiantes realizaron sobre el proyecto antes de su realización y después de ella, destacan las grandes expectativas que tenían ante la actividad de innovación docente ($M=4,60$) y los pocos prejuicios acerca de las personas a las que se iban a dirigir ($M=1,54$). Asimismo, sobresale la toma de conciencia que el alumnado ha experimentado tras la ejecución de la actividad ($M=4,70$).

7. Difusión de los resultados

Los resultados del proyecto fueron dados a conocer al Presidente de Cáritas Diocesana de León, a la Red Española de ApS y a la coordinadora de ApS en Castilla y León. A nivel local, se puso en conocimiento de todos los usuarios y benefactores de Cáritas AP “San José”. De igual forma se difundió por medio de la web institucional de la ULE y diversos medios de comunicación se hicieron eco de esta iniciativa, como los periódicos *La Nueva Crónica* y *Leonoticias*. Asimismo en el programa “Magazine” de TV León 8 se dedicó una parte para hablar de este proyecto entrevistando al profesor responsable, y se produjo en el plató televisivo el encuentro por sorpresa de tres estudiantes con tres mayores a los que se habían dirigido.

Cabe destacar que la actividad también fue difundida por parte de los alumnos participantes a través de sus RRSS con el fin de fomentar una conciencia solidaria entre las personas más cercanas a ellos, tal y como persiguen los proyectos de ApS. Esta divulgación hizo posible que se incorporaran voluntarios que tomaron el relevo de los estudiantes y permitieron prolongar el acompañamiento telefónico más allá del proyecto académico con algunos usuarios específicos cuyas circunstancias así lo aconsejaban.

La propuesta fue dada a conocer el 9 de noviembre de 2021 en forma de comunicación virtual en el “Encuentro Mundial ‘Educar para la Vida’”.



Encuentro entre estudiantes y mayores que participaron en el proyecto “Letras de Esperanza”

ANEXO I

Tabla 1. Valoración del proyecto

	Media
Académicamente	
Me ha parecido intelectualmente estimulable	4,60
La actividad me ha ayudado a comprender algún aspecto de lo tratado en la asignatura (por ej. fomento de valores, nuevas pedagogías, aprender en un contexto de pluralidad, etc.)	3,57
Me ha permitido fomentar la capacidad creativa para dar un mensaje de esperanza a una persona de la que sólo conozco su problema	4,63
Ha potenciado una relación intergeneracional y/o intercultural regulando espacios de aprendizaje en contextos de diversidad.	4,45
He conocido otras metodologías de enseñanza	4,32
Capacidades y habilidades desarrolladas	
La participación activa	4,46
La resolución de problemas y toma de decisiones	3,95
La capacidad crítica	4,02
Comportamientos éticos	4,66
Capacidad de relacionarme con otras personas	4,51
Ruptura de estereotipos	4,40
Socialmente	
He compartido con los demás algo mío	4,40
He adquirido nuevas habilidades para resolver problemas reales de la sociedad	4,16
Considero que he podido participar en la consecución del bien común	4,78
Me ha servido para considerar que, como ciudadano, tengo una responsabilidad social	4,74
Me ha llevado a considerar que formo parte de una comunidad social	4,74
Me ha permitido conocer una realidad o problemática social que no había considerado antes	4,13
Compromiso social de la universidad	
Las necesidades/problemas de los demás son una oportunidad de aprendizaje	4,60
La universidad debe facilitar canales de participación en la sociedad	4,77
La universidad debe formar a sus alumnos en competencias de carácter cívico-social	4,83

La universidad debe transmitir principios éticos para fomentar una mayor convivencia cívica	4,86
La participación de programas de servicio a la comunidad debería ser obligatoria para los estudiantes	3,66
Autopercepción de uno mismo	
Me he sentido orgulloso de mí mismo	4,57
Me he sentido autorrealizado	4,63
Me he sentido crecer como persona	4,68

Tabla 2. El antes y después del estudiante

	Media
Antes de la actividad	
Tenía algunos prejuicios acerca del tipo de personas con las que iba a hablar	1,54
No tenía muchas expectativas	2,13
Esperaba que fuese una experiencia enriquecedora en lo personal gracias a las aportaciones de otras personas y abrirme a otras experiencias y opiniones	4,60
Después de la actividad	
He tomado conciencia del problema social que supone la soledad	4,70
Estoy valorando la posibilidad de realizar algún tipo de voluntariado	3,94
Pienso recomendar esta experiencia de colaboración a mis amigos	4,62

ANEXO II



QR de la entrevista sobre este proyecto, realizada en
el Magazine de TV 8 León

«Varios días, cuando estoy de bajón, leo la carta y me animo»

Los alumnos del Grado de Educación Primaria de la ULE contactan con personas mayores de la ciudad que viven solas en el proyecto 'Letras de esperanza'

■ VÍCTOR S. VÉLEZ

LEÓN. Tal vez exagerando, el refranero asegura que la letra con sangre entra. Sin embargo, entre sus incontables dichos y proverbios no se menciona nada de cómo sale. Aunque las vías de escape son tan variadas como las infinitas combinaciones de palabras, a menudo, cuando llegan a emocionar a quien las lee, las letras salen en forma de lágrimas. Al menos eso es lo que les ha pasado a varias de las más de 30 personas mayores de la ciudad de León que en los últimos meses han recibido cartas de los alumnos del Grado de Educación Primaria de la Universidad de León (ULE).

«Letras de esperanza» es un proyecto basado en el aprendizaje de servicio que forma parte de la asignatura 'Pedagogía Religiosa' que imparte Jorge de Juan en el Campus de Vegazana. Estas metodologías se basan en que los estudiantes realizan un servicio a la comunidad y, al mismo tiempo, adquieren competencias curriculares. En este caso, la iniciativa de los futuros profesores busca combatir la soledad, que afecta principalmente a las personas de la tercera edad. «Somos conscientes del problema de la soledad. En Reino Unido tienen hasta un Ministerio de la Soledad y aquí incluso se ha planteado una concejala. Toda- vía estamos en los coquetos del coronavirus que ha dejado a mucha gente que vive sola muy tocada y nosotros queremos ayudar a que se sientan un poco más acompañadas», señala Jorge de Juan.

De este modo, por grupos y en colaboración con Cáritas de la Agrupación Parroquial San José, los universitarios



Los futuros profesores redactando cartas a los mayores de la ciudad. ■ ULE.

Cáritas ha colaborado en la iniciativa aportando a los universitarios un listado de personas que viven solas

redactaron cartas para un listado de personas mayores de la ciudad de León que viven solas. Para que este encuentro intergeneracional fuese todavía más cercano, alumnos del Grado de Educación Primaria como Omar, Sergio o Isabel se grabaron en unos vídeos para que sus nuevos amigos pudieran ponerles cara.

Más de 30 ancianos acompañados
La media de edad de la treintena de receptores de las cartas es de 75 años y «a más de uno se le han saltado las lágrimas al leer lo que les han escrito» los futuros profesores. «Una de las señoras que la ha recibido me dijo el otro día: Varios días, cuando estoy de bajón, leo la carta y me animo», relata el profesor universitario a este periódico.

Por su parte, los alumnos han aprendido fomentando valores y combatiendo estereotipos, ya que se han encontrado a personas de todas las edades y regiones viviendo solas. Una iniciativa «gratificante» para ellos, ya que han sido correspondidos dado que los receptores de las cartas han contestado con otras en las que, desde la experiencia, les aconsejan y les dan ánimos para aprovechar su inventiva sin desanimar a aquellos que más lo necesitan. «También han roto la brecha que existe entre generaciones y han visto que tienen más en común de lo que parece», indica este profesor de la ULE.

En las clases de este lunes, Jorge de Juan y los alumnos que han participado en la iniciativa llevarán a cabo una puesta en común de las cartas y vídeos que han enviado a las personas mayores, así como del 'feedback' recibido. Estas 'Letras de esperanza' han sido para leoneses, como Adelina, Emiliano o Jacinta, un aliento durante los últimos meses y una terapia efectiva para que la soledad sea algo más llevadera.

Los papeles quedan invertidos en la ULE: los alumnos pondrán nota a sus profesores las próximas semanas

■ V.S.V.

LEÓN. El proceso de evaluación al que se someterán los universitarios leoneses durante las próximas semanas tendrá un sentido bidireccional, puesto que ellos también podrán calificar la labor realizada durante el curso por sus profesores. Como viene siendo habitual, la Universidad de León (ULE) ha puesto en marcha una encuesta a través de su Oficina de Evaluación y Calidad para conocer cómo se puede mejorar la enseñanza en el Campus de Vegazana. Así, los alumnos sacarán hasta el próximo 24 de junio el bolígrafo rojo para aprobar o suspender las metodologías de cada docente y ayudar así a mejorar la calidad educativa en unas encuestas disponibles en la web de la ULE.

Cada universitario puede calificar entre uno y cinco puros, del 'nada de acuerdo' al 'totalmente de acuerdo', una decena de afirmaciones sobre el trabajo de su profesor. De este modo, los alumnos pueden valorar si sus explicaciones son lo suficientemente claras, si no se aumenta con frecuencia de las clases o de la preparación de los contenidos que luego se abordan en su aula.

Para aquellos que se tomen estas encuestas como una revancha, desde la ULE avisan que no se tendrán en cuenta las respuestas ofensivas contra el profesorado. Sin embargo, los universitarios no deben tener miedo a ser críticos puesto que las respuestas son anónimas y serán utilizadas exclusivamente para mejorar la enseñanza. En este sentido, desde la Universidad recuerdan que en los artículos 190 y 191 del Estatuto de la ULE se expone el «derecho» de los estudiantes a participar en la evaluación de la enseñanza y también el «deber» de cooperar en la consecución de los fines de la institución académica.

Más de una veintena de proyectos se citan en 'León Business Talent'

■ V.S.V.

LEÓN. El futuro emprendedor de la capital y la provincia se dará cita este lunes en 'León Business Talent', una iniciativa que en esta ocasión se desarrollará íntegramente online el lunes a partir de las 16:00 horas debido a la pandemia del Covid-19. El evento ha sido organizado por la Universidad de León (ULE), en colaboración con Secce y FIGU-LEM, y servirá de escaparate a un total de 22 ideas de negocio elaboradas por los alumnos de las asignaturas de 'Creación de Empresas' de los grados Marke-

ting e Investigación de Mercados y de Administración y Dirección de Empresas, así como del Máster de Ingeniería Industrial.

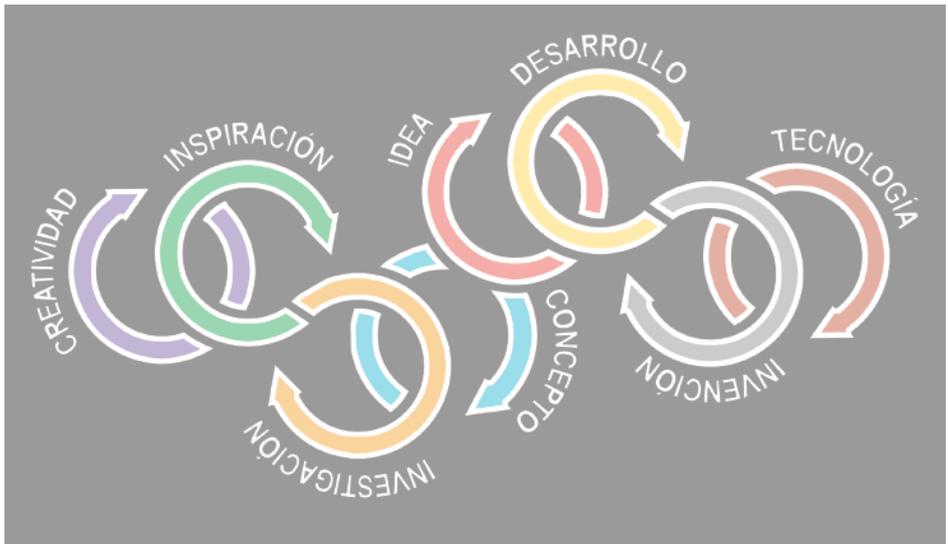
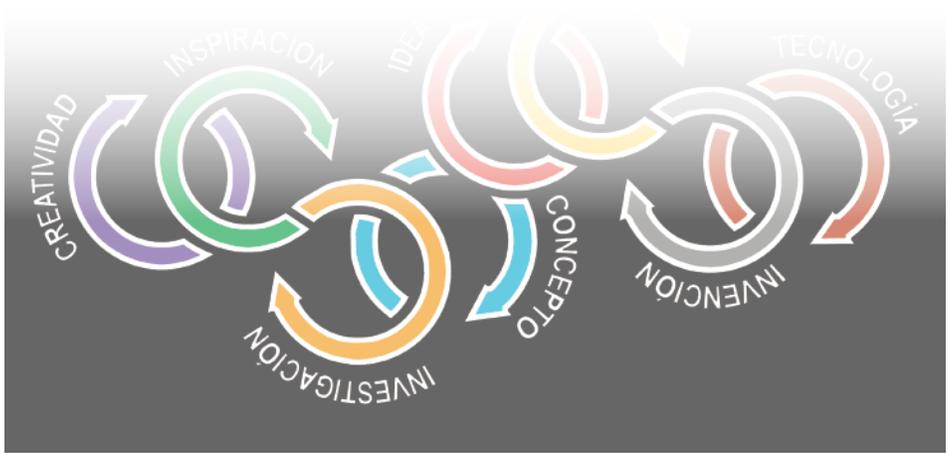
En la inauguración participará el rector de la ULE, Juan Francisco García Mañá, el decano de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, José Ángel Miguel Dávila, la subdirectora de la Escuela de Ingeniería, Inmaculada González, y los coordinadores del León Business Talent 2021, Cristina Acebo, José Luis Sánchez y Pablo Manuel Fernández. A las 16:15 horas se celebrará la po-

nencia 'Claves para un emprendimiento exitoso', a cargo de Diego Martínez Martínez, de Foodistrict, y de Carlos Manuel Lamas, de 'WeBotanik'. Posteriormente, se procederá a la presentación de la veintena de proyectos de negocio que compiten en esta edición, entre los que hay iniciativas de comercio online, videojuegos de segunda mano, energías renovables o soluciones para mejorar el descanso durante el sueño, por citar solo algunos ejemplos de las propuestas presentadas. El jurado seleccionará cinco proyectos para ser los ganadores de 'León Business Talent'. Ideas de negocio que, tal vez, pronto se puedan convertir en realidad cuando sus los estudiantes que hay detrás terminen su etapa universitaria.



Cartel de la iniciativa. ■ ULE.

Artículo en La Nueva Crónica (31/05/2021)



SUMARIO

ACTA	7
PREMIO	
Herramienta constructora de adquisición de competencias en la representación normalizada de conjuntos mecánicos de Ingeniería, basada en realidad aumentada para dispositivos móviles	9
Fernando J. Fraile Fernández	
1. Introducción	11
2. Diseño de la Investigación. Métodos y herramientas	14
2.1 Paradigmas educativos de aprendizaje	14
2.2 Definición del Problema y Objetivos	17
2.3 Metodología de la investigación	18
2.4 Elementos de diseño de Realidad Aumentada	21
2.5 Aplicación móvil	23
2.6 Mecanismos modelados para ARPAID	37
2.7 Muestra del estudio y participantes	37
2.8 Recursos utilizados	38
2.9 Planificación temporal del experimento	42
3. Resultados y discusión	44
3.1 Evaluación de los resultados de aprendizaje	44
4. Conclusiones	52
5. Limitaciones del estudio	53
6. Líneas de investigación futuras	54
Apéndice A	55
Referencias	59

ACCÉSIT

Demostradores para la formación en digitalización de la industria 65

Manuel Domínguez González

1. Justificación	66
2. Descripción de la experiencia y objetivos	67
3. Metodología o procedimiento seguido	68
4. Temporalización	69
5. Recursos materiales y económicos utilizados	69
6. Propuesta	69
7. Experiencia educativa y resultados obtenidos	74
8. Difusión de los resultados	79
9. Recursos interactivos	79
10. Proyección y compromiso institucional	82
11. Bibliografía	82
11.1 Industria 4.0	83
11.2 Educación en el ámbito de la digitalización de la industria	83
11.3 Metodología <i>Learning Factories</i>	84
11.4 Indicadores y evaluación	84
12. ANEXOS	84

MENCIÓN HONORÍFICA

Letras de esperanza. Aprendizaje-Servicio para superar la ruptura intergeneracional y acompañar la soledad 119

Jorge de Juan Fernández

1. Justificación	120
2. Objetivos	121
3. Metodología	122
4. Participantes	124
5. Temporalización	125
6. Resultados	126
7. Difusión de los resultados	126
ANEXO I	128
Tabla 1. Valoración del proyecto	128
Tabla 2. El antes y después del estudiante	129
ANEXO II	130



Consejo Social
Universidad de León