

## PREMIO

*Herramienta constructorista 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 constructivista 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<sup>er</sup> 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:** constructivismo; 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 conocimientos 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 construccionista 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 atrayente 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.

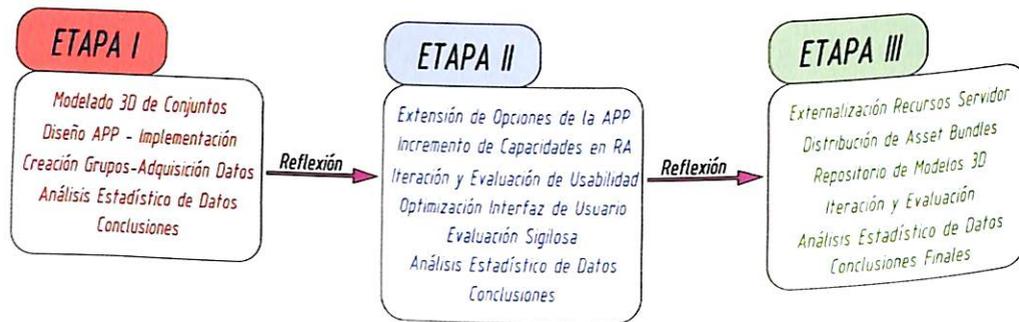


Figura 1. Diagrama de fases de la investigación

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.

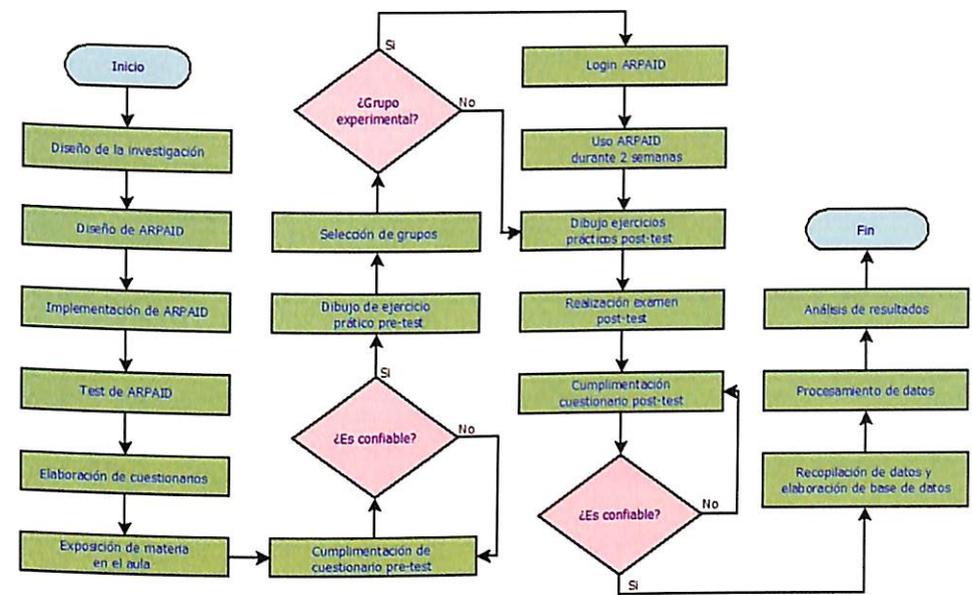


Figura 2. Diagrama de Flujo del procedimiento metodológico

### 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 Radiani 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.



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 escaneado de códigos QR (AR Tracking):** Desde el menú principal se accede a la escena en la que, mediante el escaneado 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.

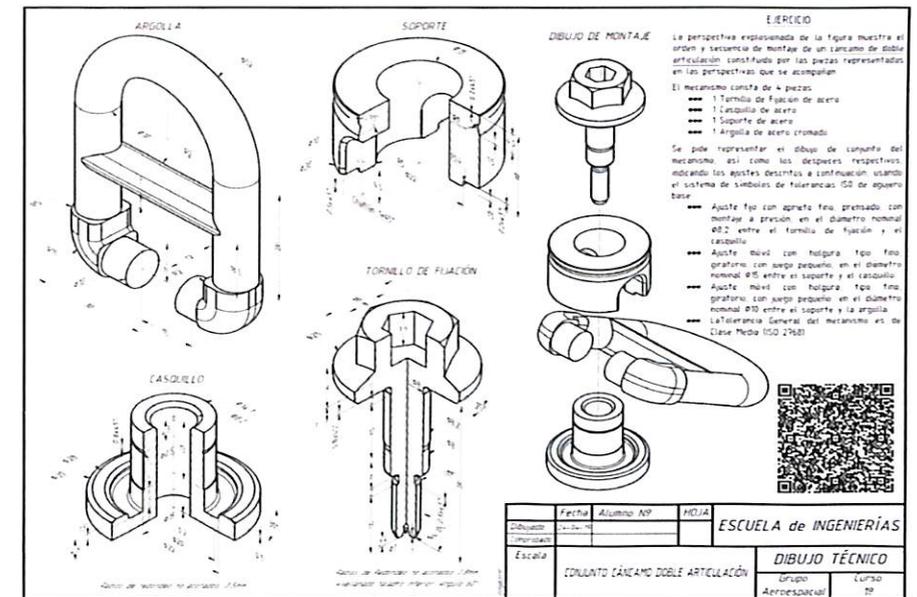


Figura 4. Ficha del conjunto Cáncamo con el código QR para el escaneado

**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



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.

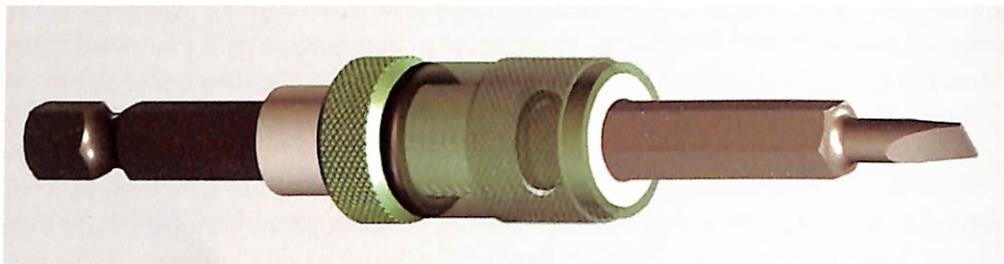


Figura 7. Vista con transparencia de un ensamblaje

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.

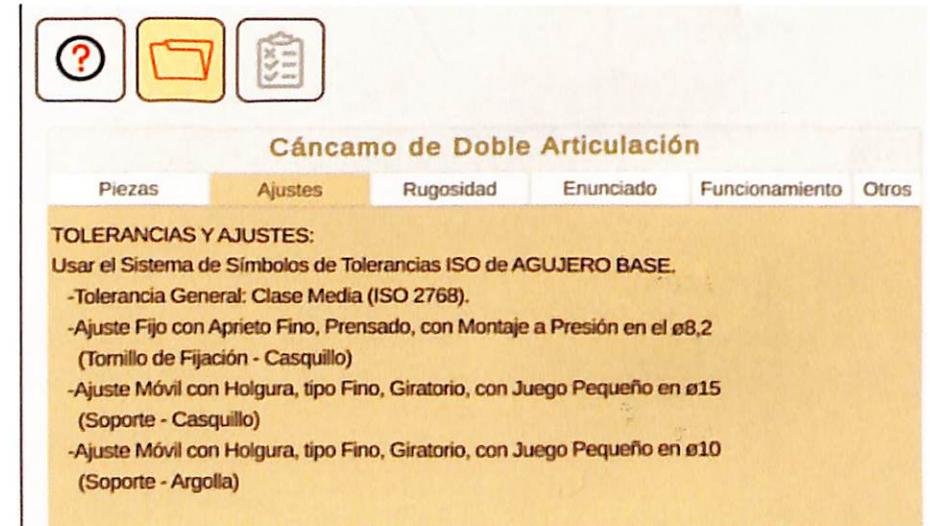


Figura 9. Panel de información

### Escena de definición y manipulación de los despieces.

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.

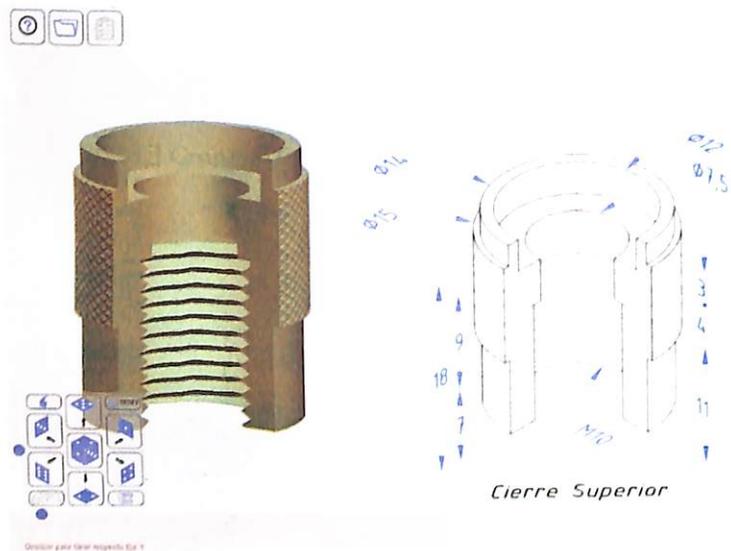


Figura 10. Escena de definición y manipulación de los despieces

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)

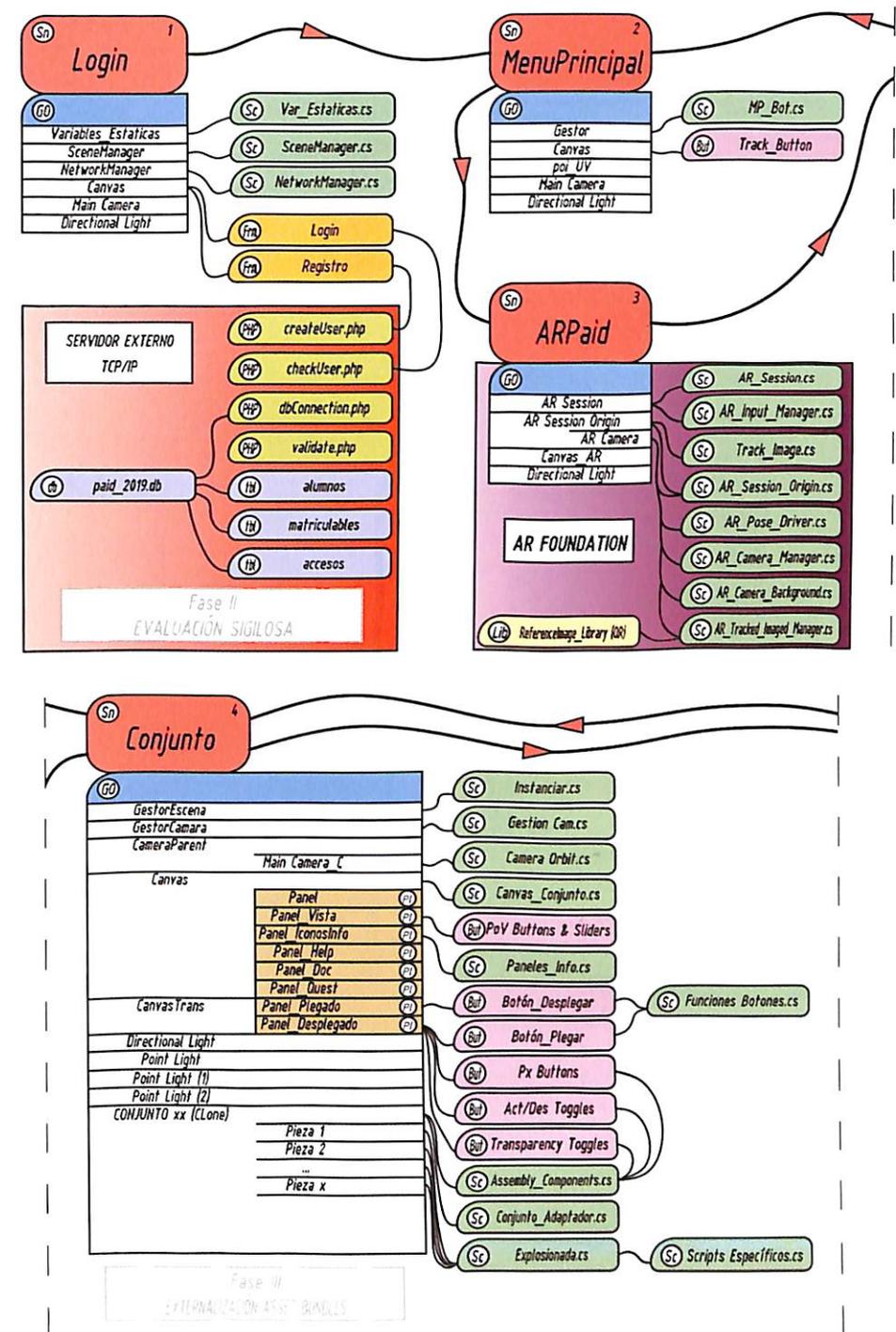


Figura 11. Diagrama de la app en el entorno de desarrollo de UNITY3D

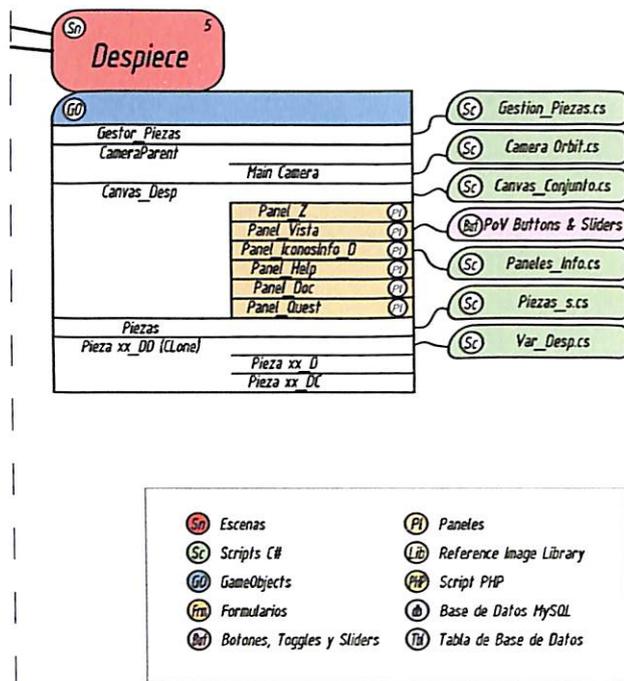


Figura 11. Diagrama de la app en el entorno de desarrollo de UNITY3D

### 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

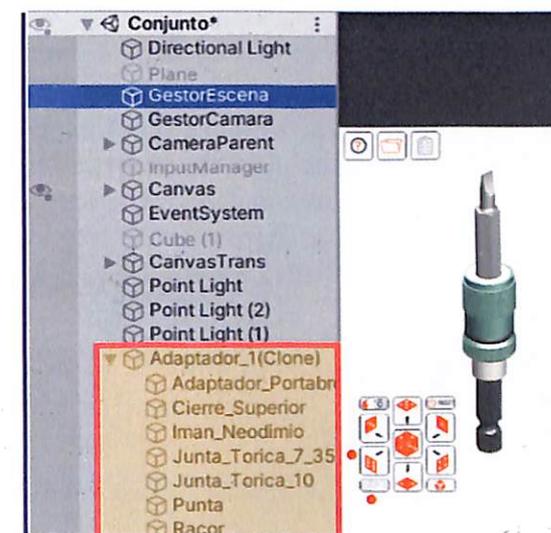
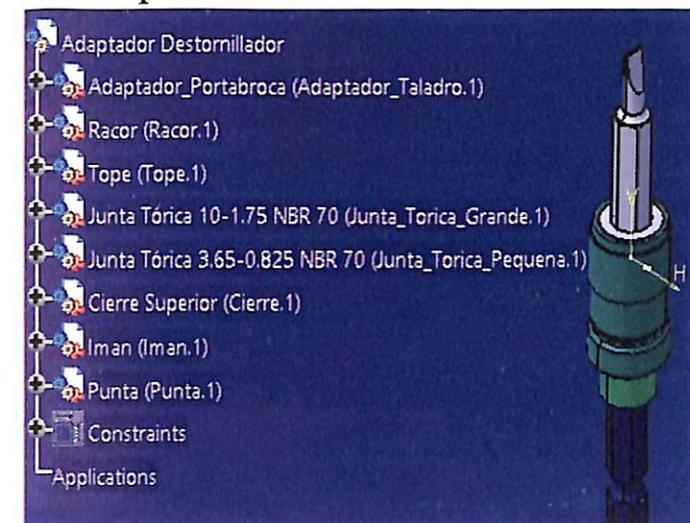


Figura 12. Conservación de la Jerarquía del modelo entre CATIA y UNITY3D

### 3DStudio Max como conversor de formato [47]

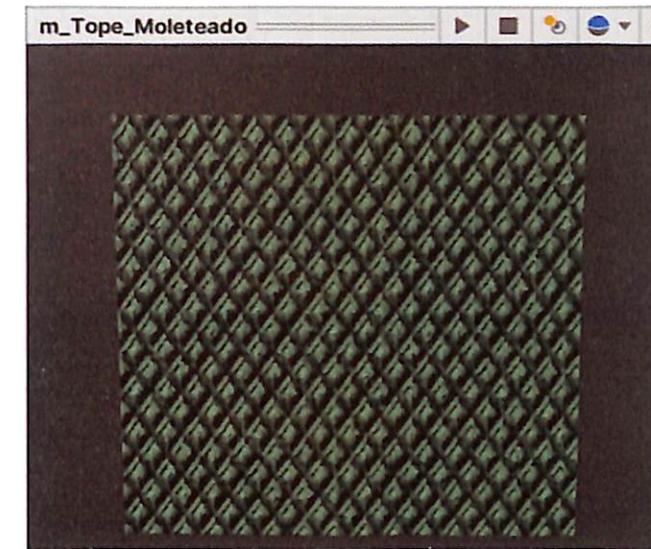
Sin embargo, los modelos creados con Catia no pueden ser incluidos directamente en una escena de UNITY3D. Catia genera objetos en formato “sólido” con el kernel CGM (Convergence Geometric Modeler), muy adecuado para aplicaciones mecánicas y de CAM/CAE. En cambio, UNITY3D usa un formato de objeto de tipo “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]

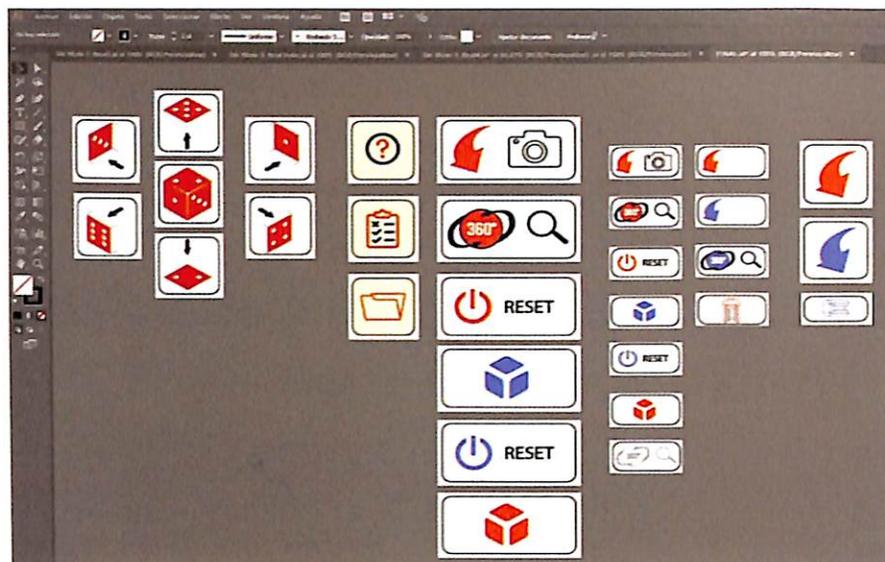


Figura 14. Plantilla de diseño de iconos de la App en Illustrator

### 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.

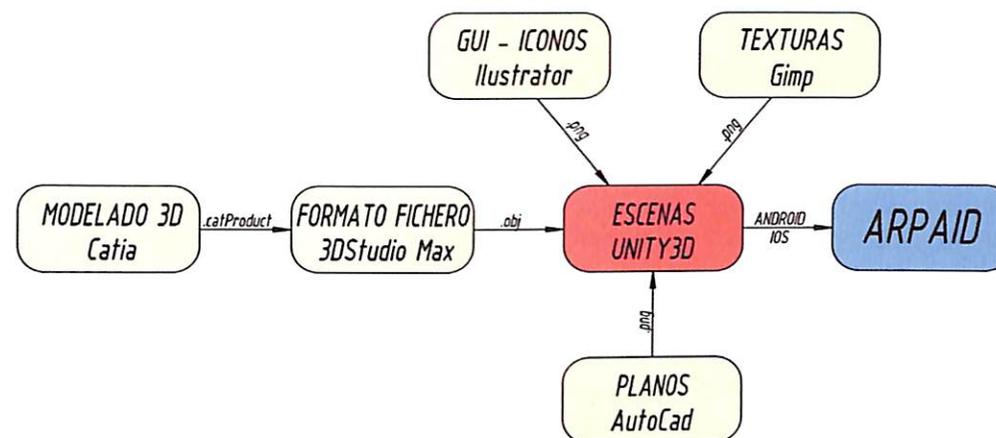


Figura 15. Diagrama de Flujo del proceso de implementación de la app.  
Necesidades de Software y compatibilidad de archivos

### 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-text 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.

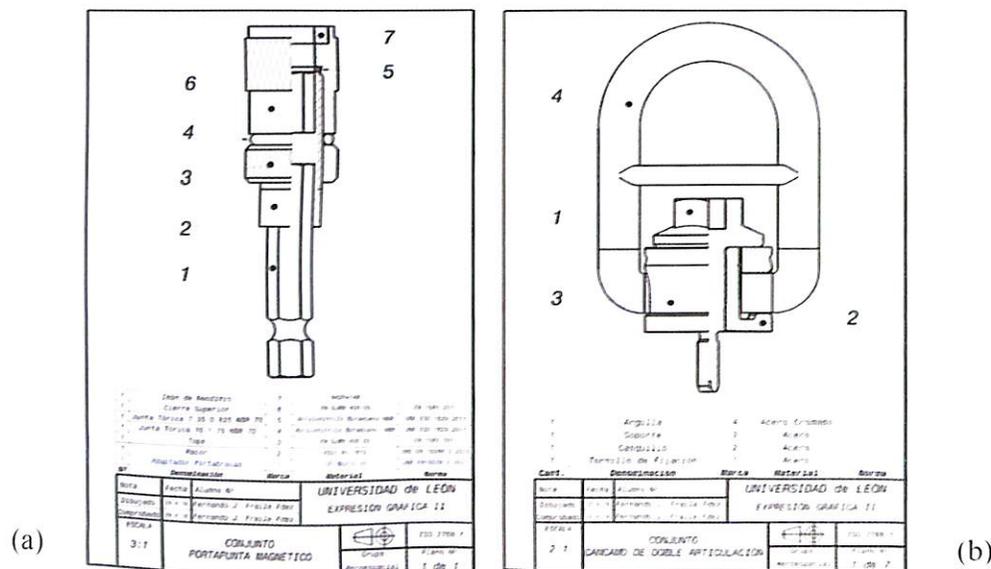


Figura 16. Fichas de los ejercicios post-test: (a) Conjunto portaherramientas

(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).

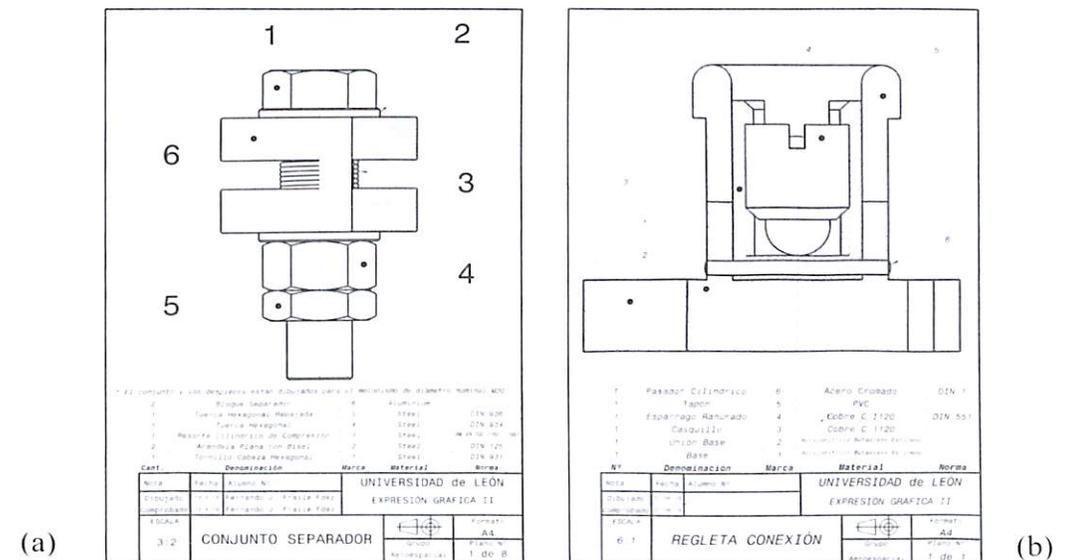


Figura 17. Fichas de ejercicios evaluables: (a) Conjunto separador;

(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 Construcionista 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.

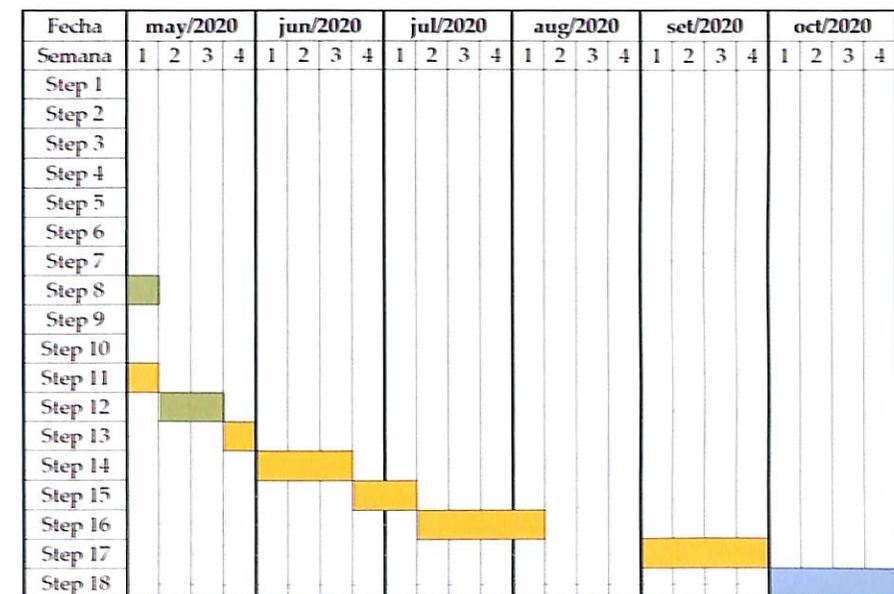
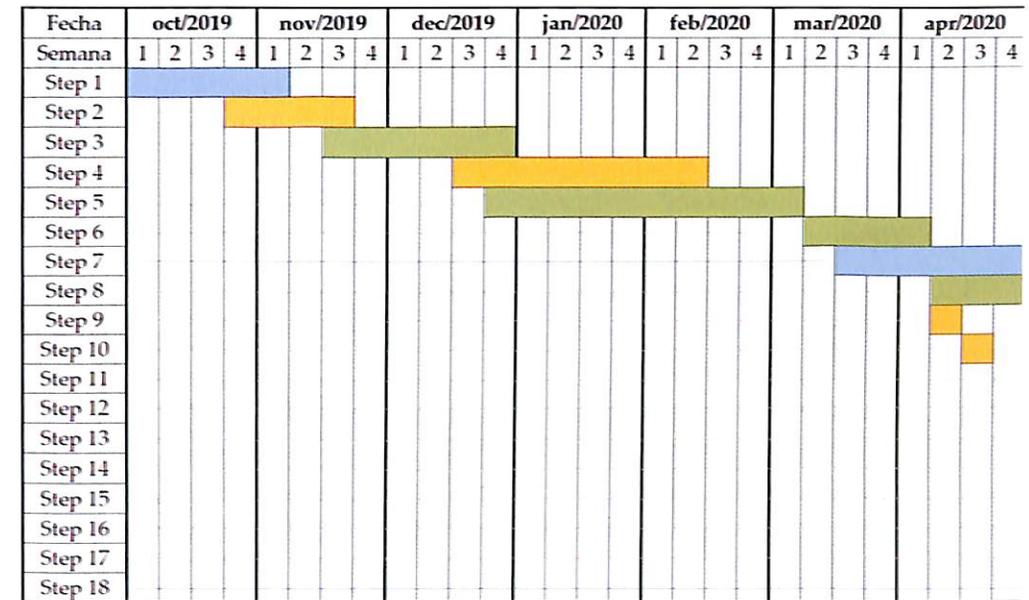


Figura 18. Cronograma del procedimiento metodológico de la fase I

### 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).

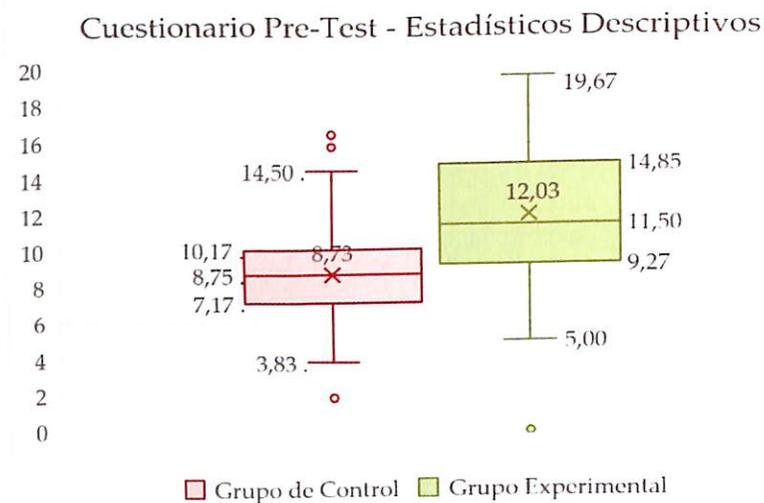


Figura 19. Cuestionario Pre-test- Estadísticos descriptivos.

##### 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).

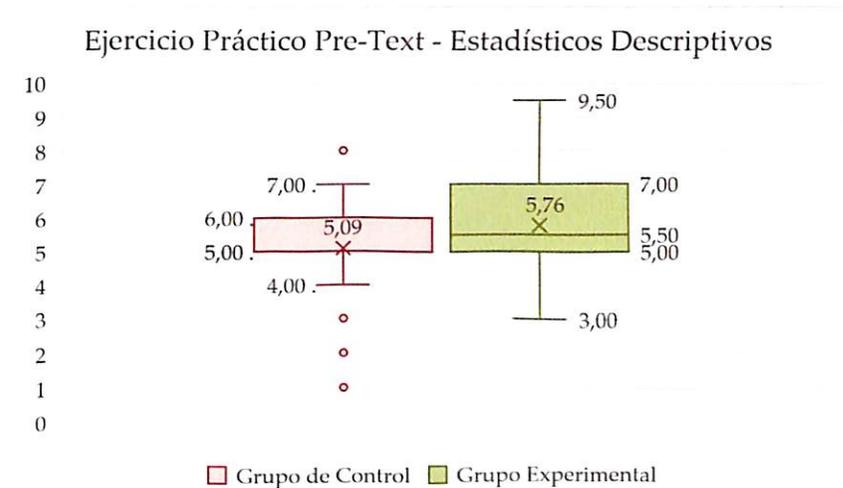


Figura 20. Ejercicio Práctico Pre-test- Estadísticos descriptivos.

##### 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.

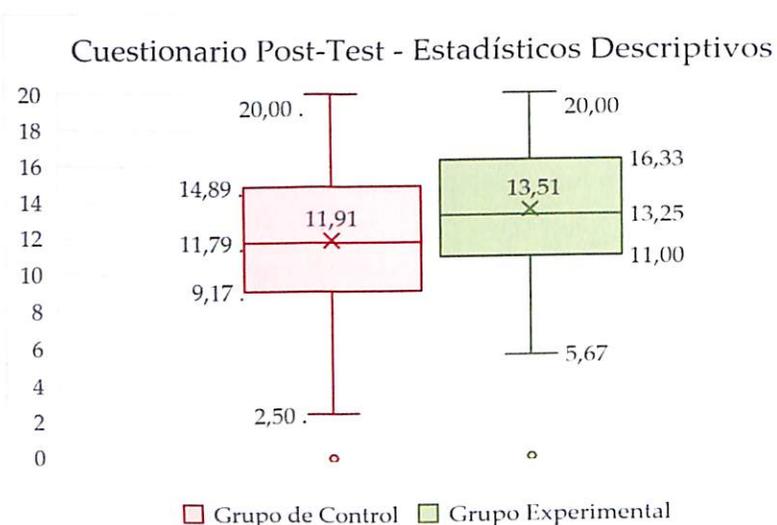


Figura 21. Cuestionario Post-test- Estadísticos descriptivos

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.

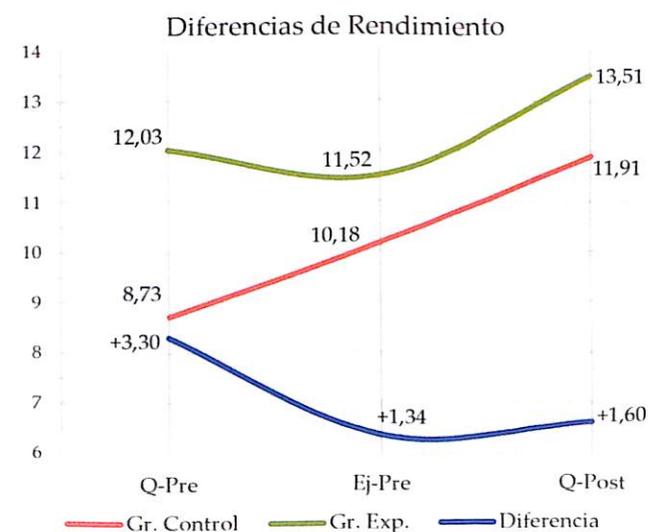


Figura 22. Evolución de las diferencias de rendimiento en los grupos en distintas etapas de la investigación

### 3.1.4 Ejercicios Prácticos Post-test y Ejercicio de Examen

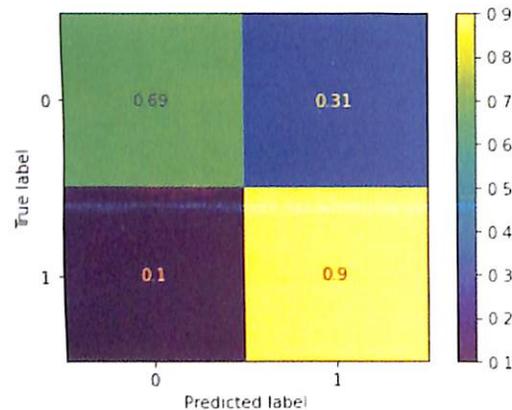
Estos tres ejercicios constituyen los instrumentos fundamentales que se han utilizado para verificar si el uso de la App ARPAID ha supuesto una influencia positiva en el grupo experimental y ha contribuido al aprendizaje significativo y profundo de la representación normalizada de conjuntos mecánicos. 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).

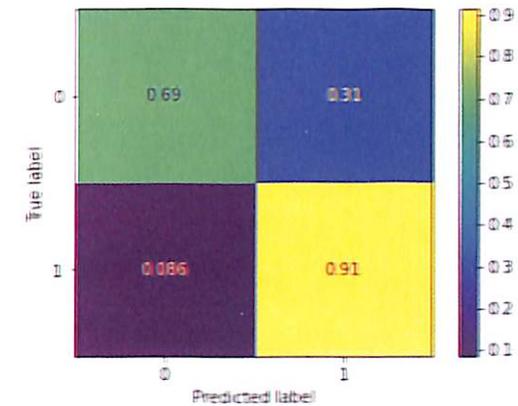
La figura 23 (a) muestra la matriz de confusión del QDA y la 23 (b) la de la SVC. Se ha prescindido de mostrar los resultados del Análisis Discriminante Lineal, ya que los resultados clasificatorios son ligeramente inferiores a los alcanzados por los otros dos clasificadores.

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



(a)

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



(b)

**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.

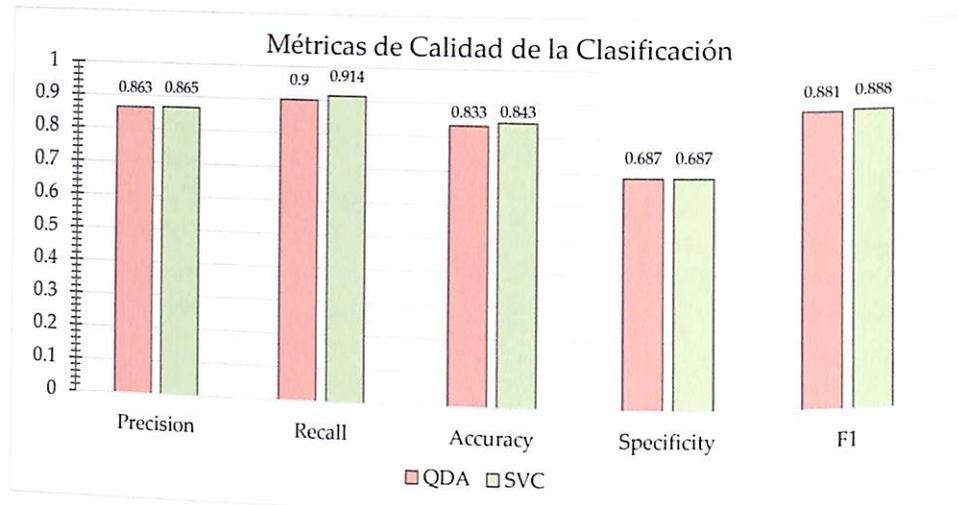


Figura 24. Índices de calidad de la clasificación

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.

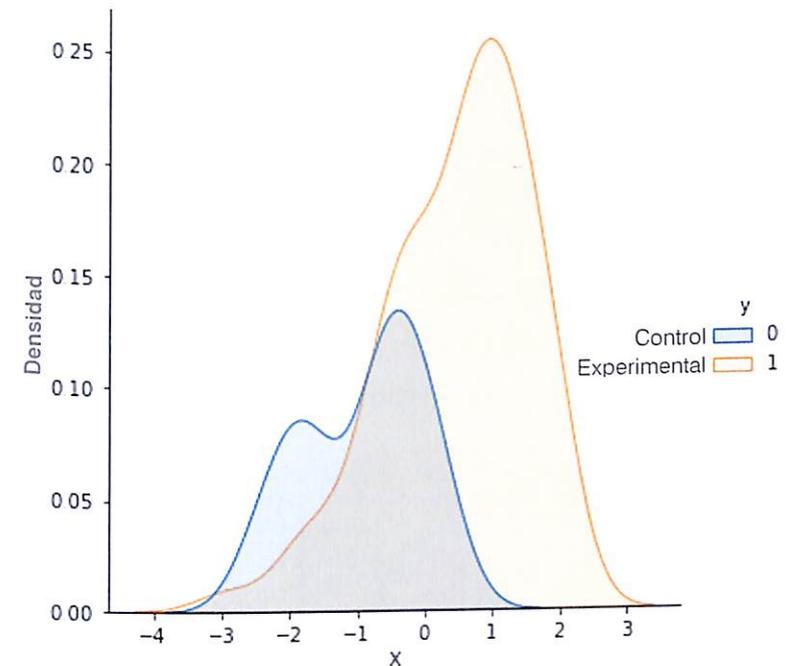


Figura 25. Histogramas de separación de clases: Clase 1: Grupo Experimental.

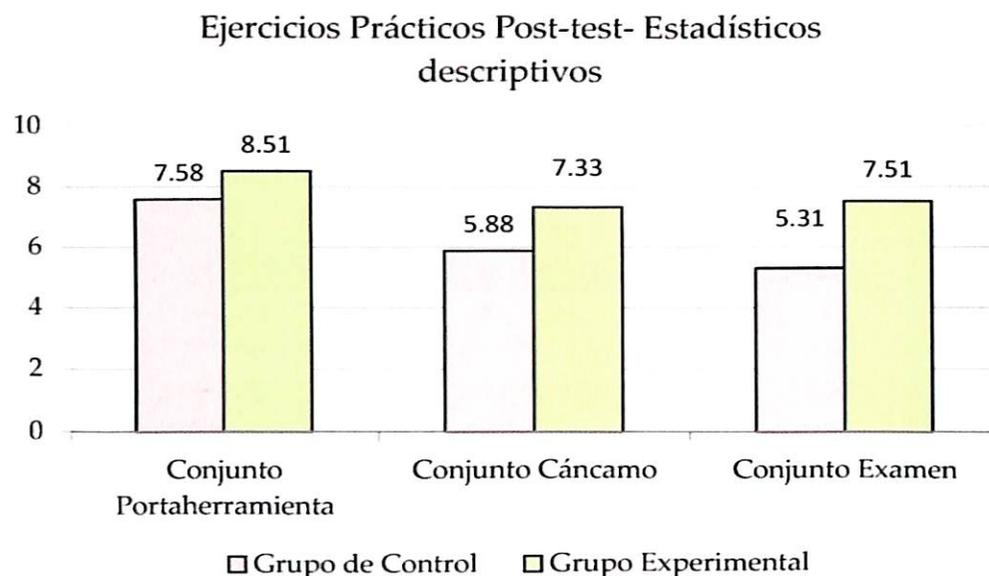
Clase 0: Grupo de Control

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.

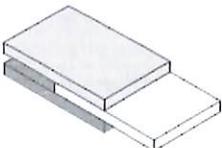
## Apéndice A

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.

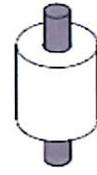
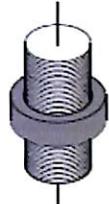
1	El plano donde se muestran las piezas de las que se compone un mecanismo así como la posición relativa existente entre ellas se denomina  A.- Dibujo de despiece B.- Dibujo de mecanismo C.- Dibujo de conjunto D.- Dibujo de posición
2	En un plano de conjunto...  A.- Se incluyen todas las cotas B.- No se acota C.- Se incluyen las cotas de montaje D.- Ninguna de las anteriores
3	En un plano de conjunto los elementos normalizados...  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
4	En un plano de conjunto en la representación simplificada de roscas, cuando se produce coincidencia especial...  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
5	Una marca de referencia es...  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

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

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.; Ocak, 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](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](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](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&nbsp;3D y&nbsp;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/ijatase/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.