



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

*Escuela Politécnica Superior de Zamora*

## **MEMORIA DE RESULTADOS**

Proyecto de Innovación Docente ID2017/152

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE REALIDAD  
VIRTUAL INMERSIVA EN ASIGNATURAS DE  
DIBUJO TÉCNICO**

### **PARTICIPANTES**

**MANUEL PABLO RUBIO CAVERO**

**JUAN ORTIZ MARCO**

**PEDRO HERNÁNDEZ RAMOS**

**DIEGO VERGARA RODRÍGUEZ**

Zamora, 13 de Julio de 2018

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. HABILIDADES ESPACIALES Y DIBUJO TÉCNICO.....</b>	<b>4</b>
2.1. Las habilidades espaciales en el aprendizaje y la práctica del dibujo técnico .....	4
2.2. Medición de las habilidades espaciales .....	5
2.3. Entrenamiento y mejora de las habilidades espaciales .....	6
<b>3. REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Definiciones.....	7
3.2. Realidad virtual y docencia .....	8
3.3. Desarrollo de aplicaciones de RVI.....	9
3.3.1. Grado de interacción y control del usuario.....	10
3.3.2. Dispositivos de Hardware.....	11
3.3.3. Software para programar RV.....	14
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RVI EN LAS ASIGNATURAS DE DIBUJO.....</b>	<b>16</b>
4.1. Elección del hardware.....	16
4.2. Elección del software .....	18
4.2.1. Software de modelado .....	18
4.2.2. Software de programación, Motor de desarrollo .....	18
4.3. Diseño de la aplicación de RVI.....	19
4.3.1. Descripción de los ejercicios.....	19
4.3.2. Grado de interacción y control elegido para la aplicación .....	21
4.4. Modelado de los entornos y objetos .....	22
4.5. Programación de la aplicación de RVI .....	25
4.5.1. Conceptos.....	25
4.5.2. Herramientas y editores.....	26
4.5.3. Configuración de un Proyecto UE4 con HTC Vive.....	28
4.5.4. Importación en Unreal de los modelos de 3DStudio MAX.....	29
4.5.5. Descripción de la aplicación creada .....	30
<b>5. METODOLOGÍA DE USO EN LAS CLASES .....</b>	<b>32</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>33</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los planes de estudios de los grados de ingeniería y arquitectura, las asignaturas de dibujo técnico ocupan una base fundamental en las competencias que deben adquirir los alumnos. El dibujo técnico es la representación gráfica de un objeto o una idea práctica que se guía por normas fijas y preestablecidas para poder describir de forma exacta y clara, dimensiones, formas y características de lo que se quiere reproducir. Se obtiene empleando un conjunto de técnicas de carácter geométrico que permite representar los objetos del espacio tridimensional sobre una superficie bidimensional y, por tanto, resolver en dos dimensiones los problemas espaciales. En este proceso es muy importante la capacidad de visión espacial [1,2]. Definida como la habilidad para gestionar mentalmente formas tridimensionales complejas, tiene una importancia vital en la etapa de formación y en la futura vida profesional del ingeniero o arquitecto [3,4]. Además, aunque la habilidad espacial es una destreza personal que depende de las capacidades innatas del individuo (casi nula en unas personas y muy desarrollada en otras), se puede mejorar mediante entrenamiento utilizando metodologías que favorezcan su desarrollo [5]. Siendo las metodologías más eficaces las que se basan en las tecnologías de la información y del conocimiento (TIC).

Por otra parte, los sucesivos planes de estudio, en particular los derivados del Espacio Europeo de Educación Superior, dedican cada vez un mayor porcentaje de créditos para asignaturas científicas, técnicas y tecnológicas basadas en cálculos analíticos, en detrimento de otras materias y en concreto del dibujo técnico, uno de cuyos objetivos principales es el desarrollo de las habilidades espaciales. Esta situación se agrava por el hecho de que actualmente puede ingresarse en las carreras técnicas sin haber cursado Dibujo Técnico en el Bachillerato.

Estas circunstancias están provocando un deficiente desarrollo de las habilidades espaciales de los estudiantes en relación a los antiguos planes de estudio, lo cual a corto plazo dificulta el aprendizaje de materias relacionadas no sólo con la Geometría y con la Expresión Gráfica, sino también con las Matemáticas, Física, Química, Geología, etc., y a largo plazo condiciona el desempeño profesional de los egresados.

Las asignaturas de dibujo técnico se pueden dividir en tres tipos en función de la aplicación a que van dirigidas:

1. Asignaturas de geometría descriptiva y sistemas de representación (Base Teórico-práctica).

2. Asignaturas de normalización y representación de formas corpóreas y volúmenes tridimensionales.

3. Asignaturas dirigidas al aprendizaje de aplicaciones informáticas de representación gráfica (CAD).

Los dos primeros tipos son los que requieren en mayor medida la aplicación de las habilidades espaciales indicadas y los más difíciles para los estudiantes, la tercera es más instrumental.

Como antes se ha dicho, las metodologías que parecen más eficaces en la mejora de la comprensión y visualización de conceptos tridimensionales son las que emplean aplicaciones informáticas en forma de entornos tridimensionales interactivos. En ellas se modela la realidad en forma de gráficos 3D con un alto grado de interacción que permiten la simulación y experimentación de diversos fenómenos o situaciones de la realidad [6]. Además, ayudan a visualizar y controlar información compleja difícil de procesar. Este tipo de aplicaciones gráficas tridimensionales interactivas se denomina genéricamente “Realidad Virtual”, ya que se genera matemáticamente en un ordenador.

La tipología de ambientes virtuales tridimensionales utilizados en procesos de enseñanza-aprendizaje, va desde los relativamente simples a los muy complejos. Pero existen dos categorías (Figura 1) generales en función de los dispositivos de visualización e interacción empleados: (i) los no inmersivos (ventana en el mundo), en los que la visión del usuario al mundo es a través de la pantalla plana del ordenador (que actúa como una ventana) y (ii) los inmersivos, que introducen completamente al usuario en el mundo virtual a través de gafas con dos mini pantallas delante de los ojos.



(i)



(ii)

**Figura 1. Tipos principales de sistemas de RV**

Hasta ahora las aplicaciones de realidad virtual creadas y utilizadas en la docencia de este grupo de profesores han sido del tipo no inmersivo. Con este proyecto de innovación docente se pretende explorar el desarrollo de herramientas de realidad virtual inmersiva, su aplicación en las asignaturas de dibujo y la evaluación de la mejora (o no) del aprendizaje con su uso.

## **2. HABILIDADES ESPACIALES Y DIBUJO TÉCNICO**

### **2.1. Las habilidades espaciales en el aprendizaje y la práctica del dibujo técnico**

Para Thurstone [7], la visualización espacial es una de las siete habilidades mentales primarias que según su teoría conforman la inteligencia (memoria asociativa, habilidad numérica, velocidad perceptual, razonamiento, visualización espacial, comprensión verbal y fluidez verbal). Otros investigadores [8] propusieron dos subfactores: la *visualización espacial*, o la habilidad de imaginar la rotación de objetos, el doblado o desdoblado de figuras planas, los cambios relativos de posición de objetos en el espacio, etc.; y la *orientación espacial*, o la habilidad de determinar las relaciones entre diferentes disposiciones espaciales y la comprensión de la disposición de elementos dentro de un patrón visual. Lo que habitualmente se conoce como visión espacial se refiere a estos dos conceptos, con lo que es equivalente al término *habilidades espaciales* empleado en la literatura científica.

A lo largo de todo el proceso de diseño, los objetos proyectados están sólo en tres dimensiones en las mentes del diseñador y de las personas que leen sus dibujos técnicos. Y antes de ser contruidos o fabricados solamente existe en el mundo físico su representación plana. Por tanto, para que este proceso culmine con éxito todas las personas intervinientes deben ser capaces de realizar con total precisión el paso entre dibujo técnico y concepción mental tridimensional de los objetos a construir o fabricar. Es decir, las habilidades espaciales constituyen un requisito imprescindible para la práctica del Dibujo Técnico.

Al igual que en su desempeño profesional, las habilidades espaciales juegan un papel crucial en la formación académica de ingenieros y arquitectos, por tres motivos fundamentales: (i) por su importancia en el aprendizaje del Dibujo Técnico; (ii) porque permiten la visualización y resolución de problemas espaciales; y (iii) porque facilitan la visualización y comprensión de conceptos científicos complejos [9-12]. Por lo tanto es muy necesario desarrollarlas en los estudiantes si no las tienen de forma innata.

## 2.2. Medición de las habilidades espaciales

Desde sus comienzos, la investigación sobre el factor espacial de la inteligencia y los subfactores que lo componen se ha apoyado en la información proporcionada por una gran variedad de test de medición de las habilidades espaciales.

Eliot y Smith [13] realizan una primera clasificación de los test en dos categorías, tarea única (aquellos que sólo precisan de un tipo de tarea u operación) y múltiples tareas (aquellos que precisan de dos o más tipos de tareas u operaciones). A su vez cada una de ellas se agrupan en otras subcategorías, diez la primera y tres la segunda. De ellas, los Test más habituales en la investigación de las habilidades espaciales pertenecen al primer tipo y son de carácter tridimensional (bloques, rotación de bloques, doblado de papel, desarrollo de superficies y perspectivas).

Se han encontrado evidencias de que no todos los test evalúan de la misma forma las habilidades espaciales. *Mental Rotations Test* (MRT) [14] y *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations* (PSVT:R) [15] parecen tener alta validez en el área de la visualización espacial [16]. Por otro lado, *Differential Aptitude Test: Spatial Relations* (DAT:SR) [17] y *Revised Minnesota Paper Formboard Test* [18] se relacionan con la orientación. La investigación sugiere que los test PSVT:R y MRT son los instrumentos que mejor miden las habilidades de visualización espacial [19].

El *Mental Rotations Test* (MRT) [14] fue creado usando las configuraciones de bloques concebidas originalmente por Shepard y Metzler [20]. Consta de 20 ítems. En la columna de la izquierda se presenta el cuerpo modelo. El sujeto debe determinar qué dos figuras de las cuatro posibles corresponden al modelo visto desde diferentes perspectivas (Figura 2).

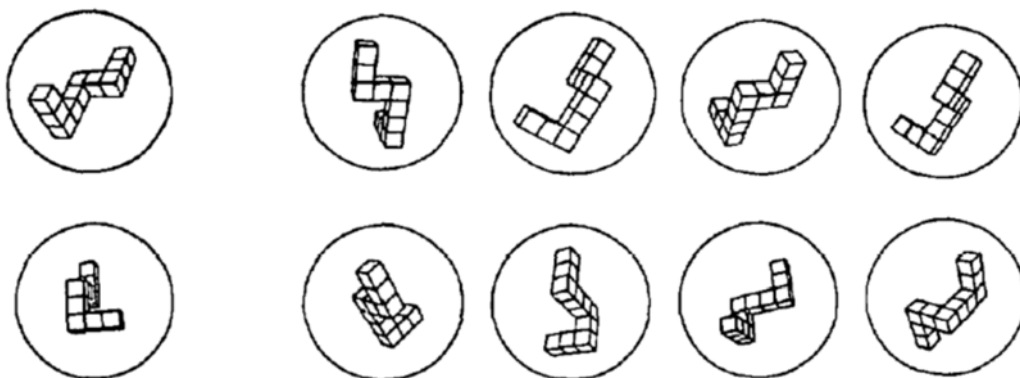


Figura 2. Ejemplo de Mental Rotations Test (MRT)

El Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R) [15] evalúa la habilidad del sujeto para rotar una imagen en su mente y visualizar el objeto en su nueva orientación. El test, de 20 minutos de duración, consiste en 30 ítems. En cada uno de ellos se muestran las perspectivas isométricas de un cuerpo tridimensional, siendo la segunda de ellas el resultado de efectuar una determinada rotación sobre la primera. A continuación se muestra un segundo objeto y se pide elegir, entre las cinco alternativas propuestas, la perspectiva de dicho objeto tras realizar la misma rotación efectuada sobre el primero (Figura 3).

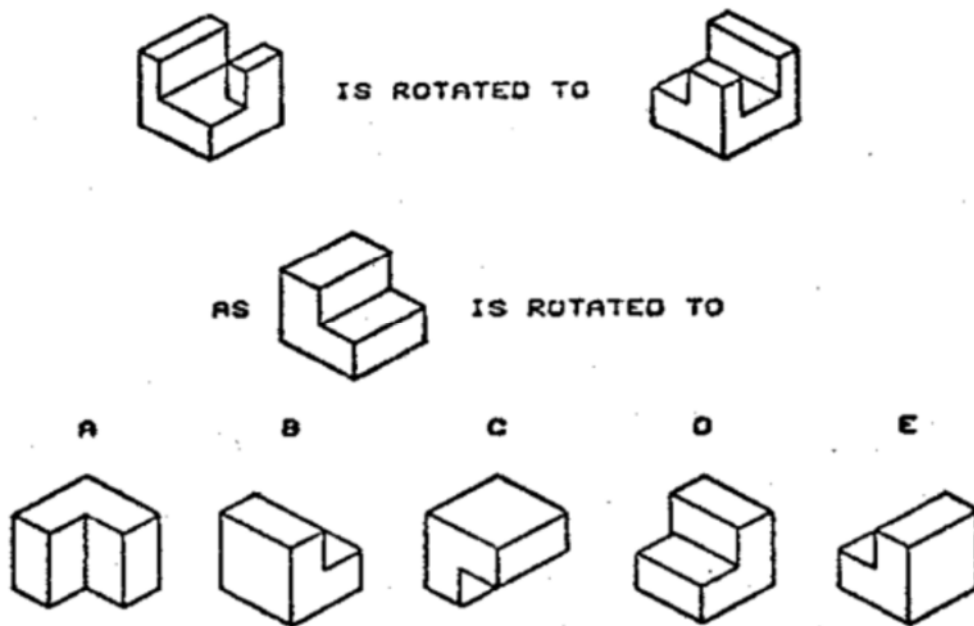


Figura 3. Ejemplo de Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R)

En la metodología de este proyecto se efectúan estos dos tipos de test, MRT y PSVT:R. Se presentan a los estudiantes implicados antes y después de utilizar la aplicación de realidad virtual para comprobar si existen modificaciones en los resultados.

### 2.3. Entrenamiento y mejora de las habilidades espaciales

Desde el ámbito de la docencia del Dibujo Técnico se han llevado a cabo en las últimas décadas numerosas iniciativas encaminadas a la mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes de carreras técnicas, con resultados variados. En primera instancia estos estudios pretendían descubrir si realmente es posible mejorar las

habilidades espaciales de un individuo mediante un entrenamiento adecuado. Para determinar que estrategias ayudan en su desarrollo es necesario determinar los factores que influyen y si pueden ser aplicados en la docencia. Entre todos los factores obtenidos (género, inteligencia general, juegos en la infancia, habilidades musicales, práctica de deportes, etc.) se encontró uno directamente relacionado con el uso de la Realidad Virtual, tema en estudio en este trabajo. Y es el uso de *videojuegos*. Dorval y Pepin [21] encontraron evidencias de que los videojuegos que requieren desenvolverse en entornos tridimensionales desarrollan las habilidades espaciales del sujeto. Las aplicaciones de realidad virtual de este proyecto utilizan técnicas de los videojuegos tridimensionales pero añadiendo la inmersión en el entorno interactivo mediante el equipamiento adecuado. Con ello se espera conseguir mejorar las habilidades espaciales y aumentar la motivación de los estudiantes.

### **3. REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA**

#### **3.1. Definiciones**

La realidad virtual (RV) es la simulación por ordenador dinámica y tridimensional de escenas complejas, a través de la cual los usuarios pueden adentrarse con ayuda de dispositivos a un mundo diferente al suyo. Se caracteriza principalmente por su comportamiento dinámico y su operación en tiempo real. Además, es capaz de reaccionar ante el comportamiento de los usuarios, ofreciéndoles una experiencia inmersiva, interactiva y multisensorial [22].

Los usos más avanzados en la RV están enfocados a la simulación de un entorno tridimensional creado por ordenador, en él, el usuario siente que está en un mundo virtual que percibe a través de diferentes dispositivos: gafas, mandos, guantes, trajes especiales, etc. [23,24]. Este tipo de RV se conoce como Realidad virtual inmersiva (RVI). El término inmersivo se añade para hacer referencia a que el usuario puede sumergirse en el mundo virtual, realizar movimientos e interactuar con objetos y personas virtuales con una experiencia cercana a la que viviría en el mundo real.

La RV totalmente inmersiva es todavía una tecnología emergente y no se conoce todo su potencial en el ámbito de la educación pero sí se sabe que permite el aprendizaje basado en escenarios y experiencias [25-27].

Además, el uso de la RV tiene otras ventajas genéricas [28]:

- Mejora la comprensión: En algunas ocasiones se hace difícil lograr la



comprensión total de un concepto, fundamentalmente cuando este es muy abstracto o complejo. Por eso, mostrarlo en todas sus dimensiones con la realidad virtual puede facilitar su comprensión y correcto procesamiento.

- Ahorra tiempo: Como los conocimientos se comprenden más rápido los resultados pueden obtenerse en menor tiempo, con lo que el docente podrá dedicar más tiempo de la clase a explicar otros conceptos adyacentes a la información principal que desea transmitir y generar así una lección más completa.

- Genera conocimientos más duraderos: Lo que se experimenta generalmente se recuerda por más tiempo y con mejor claridad que lo que otra persona nos cuenta. Por eso las lecciones que incluyen una parte emotiva, como las que pueden darse con la VR, crean conocimientos más estables y duraderos en el tiempo.

- Favorece la atención de los estudiantes y la cooperación entre ellos: La creación de experiencias inmersivas puede aumentar los tiempos de atención de los estudiantes así como también facilitar los hábitos de trabajo en equipo.

La RVI es la que mayor desarrollo está teniendo aunque todavía está en sus inicios.

### **3.2. Realidad virtual y docencia**

La Realidad Virtual es un recurso didáctico del que los profesores se pueden servir para motivar y atraer la atención de los estudiantes a través de los gráficos tridimensionales de calidad y del alto grado de interactividad ofrecida por los sistemas virtuales [6]. Son similares a los laboratorios virtuales en el modelado de la realidad, simulación y experimentación pero con una gran ventaja: ayudan a visualizar y controlar información compleja que, a priori, es difícil de procesar. Presentando esta información en un espacio tridimensional y permitiendo la interacción con ella, se logra convertir una experiencia abstracta (el manejo de la información) en una experiencia similar a las del mundo real, convirtiendo lo abstracto en concreto.

Desde el punto de vista de las aplicaciones actuales de la realidad virtual al aprendizaje en ingeniería, la mayoría son simulaciones de laboratorios virtuales tridimensionales (LV-3D) enfocados a la realización de prácticas con equipos complejos, voluminosos, costosos o peligrosos que dificultan el uso por parte de un número elevado de estudiantes. Con ello se consigue que cada estudiante tenga su práctica y obtenga una experiencia muy cercana a la práctica real. También se pueden obtener resultados técnicos similares a los de la práctica real o la evaluación del

aprendizaje mediante cuestiones o ejercicios incluidos en la misma aplicación [29-31].

Sin embargo, el uso de la realidad virtual en la educación de ingeniería se extiende más allá del uso de LV-3D. Por un lado, unas aplicaciones de realidad virtual se centran en el diseño y la simulación de un proyecto de ingeniería, que se basan no solo en el uso de técnicas sino también en la verificación interactiva de los resultados obtenidos [32-34]. Por otro lado, otras aplicaciones de realidad virtual pretenden mejorar la comprensión de diferentes conceptos: comprensión espacial de conceptos abstractos, gráficos tridimensionales complejos, procesos de producción, fabricación, procesos de operación, ensamblaje, etc. [35-37]. Finalmente, una tendencia reciente es relacionar entornos de aprendizaje de realidad virtual con juegos serios y, de esta manera, motivar a los estudiantes a través de un procedimiento de gamificación del proceso de enseñanza-aprendizaje [38].

### **3.3. Desarrollo de aplicaciones de RVI**

Antes de comenzar con el diseño y la programación de una aplicación de RVI en general y en docencia para ingeniería en particular, es necesario tener claro si el uso de la RV va mejorar el aprendizaje, si merece la pena el esfuerzo que hay que hacer. Son tantas las áreas que se abarcan que actualmente es imposible crear usos específicos en todas las disciplinas y como se dijo antes, la aplicación actual principal es la simulación de entornos y procesos en tres dimensiones.

Pantelidis [39] propone un modelo para elegir cuándo usar RVI. En el procedimiento a seguir primero se definen o se seleccionan los objetivos específicos de la aplicación. Después se marcan los objetivos que se podrían lograr mediante una simulación generada por ordenador, para a continuación determinar cuál de ellos podría utilizar una simulación interactiva tridimensional. Si no se obtiene ninguno, la RVI no será útil.

Una vez que se comprueba la viabilidad de aplicar la RVI al tema elegido, el proceso de creación de la aplicación puede seguir los siguientes pasos (Figura 4):

Primero se decide el nivel de realismo que se busca en cada objetivo en una escala de muy simbólico o esquemático a muy realista.

El siguiente paso es elegir el nivel de interacción del usuario con el entorno que puede estar entre no tener ninguna o ser completa. La interacción elegida determinará los sentidos implicados (p.e. táctil, sonoro o sólo visual) y el grado de control y de

inmersión que tendrá el usuario.

De acuerdo con las opciones adoptadas en los puntos anteriores, se eligen el hardware y el software de programación que mejor se adapten para cumplir los objetivos propuestos.

Se modela el mundo virtual, se programa la interactividad y se genera la aplicación intentando reducir los tiempos de respuesta para que la experiencia sea lo más real posible.

Por último se evalúa con un grupo de usuarios para comprobar los objetivos conseguidos y hacer las modificaciones necesarias si no se han alcanzado [40].

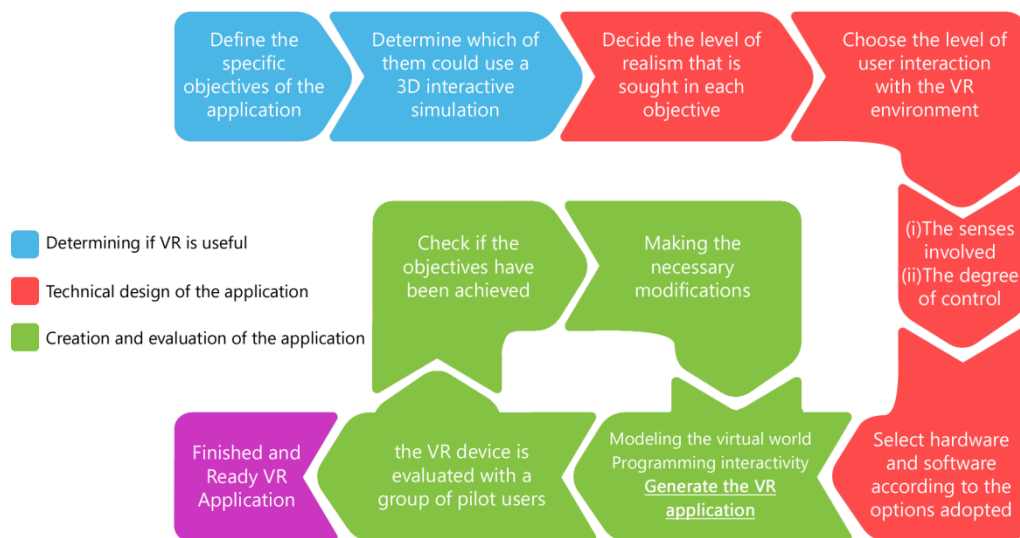


Figura 4. Esquema del diseño de una aplicación de RVI. Tomado de [40]

Después de ver el procedimiento general para elaborar una aplicación de RVI hay que hacer hincapié en los aspectos técnicos más importantes en el desarrollo del proceso de creación:

### 3.3.1. Grado de interacción y control del usuario.

Existen tres niveles básicos de interacción creciente y también de dificultad creciente en su creación que se deben tener en cuenta en el diseño de la aplicación [42].

**Nivel pasivo.** Es similar a ver una película pero en un entorno tridimensional inmersivo. El usuario no tiene ningún control sobre lo que ocurre salvo elegir hacia donde mira. Puede ver, oír y quizá también sentir lo que sucede a su alrededor pero no

lo controla. El ejemplo más común es el vídeo en 360°.

**Nivel Exploratorio.** Este nivel permite el desplazamiento por el mundo virtual además de poder elegir hacia dónde mirar. Supone una gran mejora en cuanto a funcionalidad e inmersión pero todavía falta la interacción y el control sobre el entorno. Se puede ver y cambiar de posición pero no tocar. En este nivel están los paseos arquitectónicos o los museos virtuales más sencillos.

**Nivel Interactivo.** Un sistema virtual interactivo permite explorar, controlar e incluso modificar el entorno. El grado de interactividad puede variar mucho dependiendo de los objetivos que se pretenden, de los sentidos alcanzados, de los dispositivos de hardware disponibles y del software de programación empleado. La mayoría de las aplicaciones de RVI actuales se engloban en este nivel en mayor o menor grado.

### **3.3.2. Dispositivos de Hardware.**

Como se ha indicado antes, la selección del hardware depende de los niveles de realismo, inmersión e interacción elegidos en función de los objetivos de la aplicación. Cuantos más sentidos del usuario se quiera implicar mayor será la complejidad de los dispositivos y su programación, incluso algunos pueden no estar todavía desarrollados para su uso fuera de los centros de investigación. Los más frecuentes son la visión y el oído. Las manos se usan solo en el manejo de los controles, muy poco en la recepción de estímulos táctiles (tacto, temperatura, etc.).

En el caso de los sistemas no inmersivos, el dispositivo de visión es el propio monitor del ordenador y el elemento de hardware que lo controla y que es necesario tener muy en cuenta, es la tarjeta gráfica. Para una interacción fluida es necesaria una gráfica de altas prestaciones en número de procesadores gráficos, memoria no compartida instalada y bus de datos de alta velocidad. Las tarjetas actuales de gamas media y alta que se montan en los ordenadores para videojuegos dan las prestaciones necesarias con suficiencia.

En los sistemas inmersivos, principalmente se emplean gafas montadas en la cabeza con una pantalla en cada ojo (HMD). Los dispositivos de este tipo se desarrollaron en la década de los 80 pero no tenían ni la resolución ni la velocidad suficientes para que la experiencia fuera totalmente inmersiva. No fue hasta 2015 que se comercializaron las primeras gafas que daban las prestaciones necesarias. En este momento varios fabricantes están aportando sus productos. La tarjeta gráfica también es fundamental en

este caso, se requiere una gran capacidad de cálculo para generar dos imágenes simultáneamente, una en cada ojo.

En los dispositivos comerciales (fuera de los laboratorios de investigación), podemos distinguir dos categorías, (i) Bajo coste y bajo nivel de inmersión y (ii) medio coste y nivel de inmersión aceptable.

Dentro de la primera categoría (i) están:

**Google Cardboard** (Figura 5a): es la forma más sencilla y barata de comenzar a experimentar con la RV. Google las diseñó en cartón y otros han hecho variaciones en otros materiales tomándolas como referencia.



**Figura 5. HMD de bajo coste**

El sistema informático utilizado es un smartphone en el que poder ejecutar aplicaciones y juegos o reproducir vídeos de realidad virtual. Incluye dos lentes de 40mm de distancia focal y dos imanes en los laterales que interactúan con los magnetómetros del teléfono. Este sistema tiene como ventajas su reducido coste, la gran cantidad de contenidos (sobretudo vídeos 360°) y que funciona con la mayoría de los modelos de smartphone. Sus desventajas son que la calidad de la experiencia es muy limitada. Las Cardboard son tan básicas que depende del smartphone para todo, incluyendo el seguimiento de la cabeza o la detección del movimiento. La pantalla no tiene resolución suficiente y además son incómodas de usar.

**Samsung Gear VR** (Figura 5b): una versión mejorada de las Cardboard. La construcción es mucho más sólida y el aspecto final resulta no solo más agradable a la vista, sino también mucho más cómodo de utilizar. Sin embargo las diferencias residen en los elementos adicionales que Samsung ha añadido: mejor óptica, mejor campo de visión (96° frente a los 90° de las Cardboard), y mejor seguimiento de la cabeza gracias

a una serie de sensores específicamente dirigidos a esa tarea. El precio sube pero sigue siendo asequible. Como principal desventaja está que solo se pueden utilizar estas gafas con determinados modelos de smartphones de Samsung (los más caros) y que el nivel de inmersión es relativamente bajo.

En la segunda categoría (ii):

**Oculus Rift** (Figura 6a): Proyecto nacido bajo el amparo de Kickstarter y adquirida por Facebook. Se convirtió desde su origen en el inicio de la nueva revolución de la realidad virtual. Es la referencia en este segmento por derecho propio y deja claro hacia dónde deben dirigirse aquellos que buscan experiencias de la máxima calidad en este ámbito. Entre los elementos de hardware que incluye esta plataforma están las gafas de RV, auriculares de sonido envolvente 360° y un sensor que registra los movimientos del cuerpo del usuario. Para generar los entornos necesita un ordenador de alta gama con tarjeta gráfica de muy altas prestaciones. Su mayor desventaja es que está pensada para ser utilizada sentada, apenas permite el movimiento del usuario.



**Figura 6. HMD de altas prestaciones**

**HTC Vive** (Figura 6b): es el casco de realidad virtual del fabricante de móviles HTC y de la desarrolladora de videojuegos Valve. Su principal característica es el grado de inmersión que ofrece gracias a sus mandos que permiten al jugador interactuar con objetos dentro del entorno y a sus sensores que al colocarlos en las paredes de la habitación, la convierten en un espacio virtual donde el usuario puede moverse libremente. Como en el caso de las Oculus Rift, es necesario un potente PC para poder completar la experiencia de realidad virtual.

### 3.3.3. Software para programar RV

Independientemente del sistema de hardware elegido, la programación de una aplicación de RV requiere de ciertas tareas comunes que dependen del nivel de realismo y de interactividad escogidos para alcanzar los objetivos propuestos.

En los años 80, en las primeras fases de investigación y desarrollo de la RV, las aplicaciones se programaban directamente en lenguajes de alto nivel que requerían grandes conocimientos y mucho trabajo en la creación de código. Con los mismos lenguajes se creaban los entornos 3D y se les dotaba de la interactividad necesaria. No existía una especialización de tareas. Además, como en aquel momento las capacidades gráficas de lenguajes y equipos eran muy limitadas, se obtenían resultados mediocres en el aspecto visual del ambiente virtual, el más importante para lograr la inmersión del usuario.

En los años siguientes se desarrollaron herramientas que mejoraban los resultados gráficos y simplificaban los procesos de trabajo pero exigían todavía una gran especialización en programación. Surgieron lenguajes para representar la realidad tridimensional como VRML, que todavía se sigue utilizando en algunos trabajos.

En los últimos años y con el avance multimedia han surgido nuevas herramientas de creación mucho más potentes, pensadas para un uso menos experto y con resultados gráficos fotorrealistas. Además se han separado las tareas de modelado de los entornos 3D de las de programación de la interactividad en dos tipos de programas:

***Software de modelado y animación en 3D:*** programas en los que se crean los mundos virtuales tridimensionales. Utilizando las técnicas de los programas de CAD se generan los objetos, el aspecto visual de su superficie, la iluminación de los entornos, efectos de la naturaleza (fuego, niebla, líquidos, etc.), efectos dinámicos (fuerzas, gravedad, choques, etc.) y animaciones de todo tipo. Son los mismos que se emplean en la producción de películas, videojuegos y proyectos y previsualizaciones de ingeniería y arquitectura.

Los programas de modelado 3D más utilizados son:

**Blender:** Es el software de animación y modelado 3D gratuito y de código abierto más popular que existe actualmente, tiene el inconveniente de un difícil aprendizaje.

**Autodesk 3DStudio Max:** Es el más utilizado en aplicaciones profesionales de ingeniería y arquitectura y en la creación de videojuegos. Su curva de aprendizaje es

más asequible.

Autodesk Maya: Es el preferido en la producción de películas y el más potente pero es el más complejo.

***Motores de desarrollo:*** Se crearon originalmente para la programación de videojuegos por eso se le llama también motores de videojuegos. Otro nombre que se les da es "Motor Gráfico" ya que son los encargados de generar las imágenes interactivas con las que se ve el videojuego o la aplicación de RV. Desde hace unos años, la palabra motor en el mundo del software se refiere al a un programa o parte de un programa que ejecuta un determinado tipo de tareas comunes con otras aplicaciones de software: un motor de base de datos, un motor de transcripción texto a escrito, o un motor gráfico.

El motor de desarrollo ofrece al programador un conjunto de funciones básicas ya programadas y comunes en todas las aplicaciones de RV, proporcionando entre otras, un motor de renderizado ("render") para generar los gráficos 2D y 3D, un motor que detecta las colisiones físicas entre objetos y las respuestas a dichas colisiones, interacción con el entorno, sonidos y música, animación, inteligencia artificial, comunicación con la red, posibilidad de ejecución en hilos, gestión de memoria, etc. Otras características importantes son la facilidad uso y la posibilidad de desarrollar para distintas plataformas.

Los motores gráficos son cada vez más potentes y ofrecen mayores prestaciones. El hardware actual y los años de experiencia de los grandes estudios permiten crear aplicaciones con gráficos hiperrealistas a creadores relativamente modestos. Se indican a continuación los más utilizados:

Unity3D: El motor de desarrollo de videojuegos en 3D más popular en el mercado actualmente. Es un motor gráfico flexible, con una gran gama de recursos, sencillo de aprender y de usar y, además, al ser multiplataforma, cualquier proyecto se puede exportar a sistemas operativos tanto móviles como de escritorio, así como para consolas. También es compatible con plataformas de realidad virtual. Dispone de todo lo necesario para diseñar proyectos en 2D y 3D.

Unreal Engine: Es gratuito desde el 2015 y es un motor multiplataforma total. No solo está optimizado para las consolas actuales (incluyendo Nintendo Switch) sino que soporta dispositivos móviles y todos los dispositivos de realidad virtual. Es más



avanzado gráficamente que el Unity y gracias a sus constantes actualizaciones se está posicionando rápidamente como el motor de desarrollo de referencia en múltiples videojuegos y aplicaciones serias.

#### 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RVI EN LAS ASIGNATURAS DE DIBUJO.

Una vez realizado el estado del arte de las habilidades espaciales y el dibujo técnico, de las aplicaciones existentes de la RVI en la docencia y de los equipamientos de hardware y herramientas de software existentes en la actualidad, llega el momento de elegir el hardware y el software que se va a utilizar en el proyecto. Después se elabora la aplicación de RVI, diseñando, modelando escenarios y programando.

##### 4.1. Elección del hardware

El hardware empleado incluye los ordenadores ya existentes en el Área, de los cuales se eligió el más potente (Acer Veriton M4620G, Intel Core I7-3770 3.40GHz, 12GB RAM) como equipo base para el desarrollo de la aplicación y plataforma informática de las gafas de realidad virtual. Como se dijo en el apartado de Hardware anterior, en este equipo es necesaria una tarjeta gráfica de altas prestaciones que fue adquirida gracias a la financiación concedida dentro de este *Proyecto de innovación y mejora docente*. La elegida fue una Nvidia Geforce GTX 1060 específica para RV (Figura 7).



Figura 7. HMD de altas prestaciones

La elección del sistema de realidad virtual HTC Vive se ha hecho teniendo en cuenta el informe “VR/AR Innovation Report” que publica el congreso de desarrolladores de realidad virtual (VRDC, <http://www.vrdconf.com/>) y que designa

este sistema como el más utilizado y con mayor proyección futura. Además es totalmente compatible con el motor de desarrollo elegido para la programación de la herramienta de realidad virtual inmersiva.

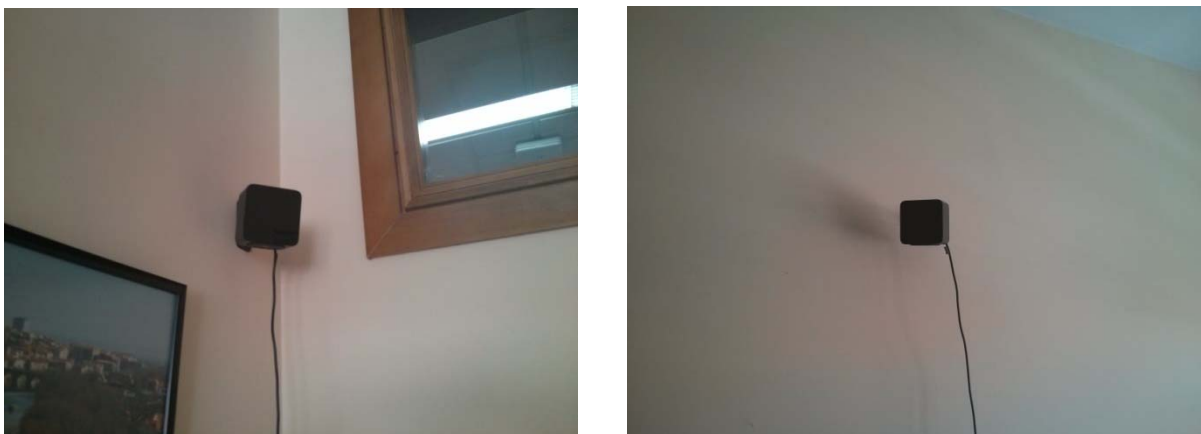
HTC Vive es uno de los sistemas de realidad virtual más avanzado en la actualidad. Las gafas permiten al usuario mirar en cualquier dirección y cuenta con unos controles para que el usuario pueda interactuar con los diferentes objetos del mundo virtual.

Lo que diferencia al sistema Vive de todos los demás sistemas de realidad virtual es que permite que el usuario camine por el entorno, con una interactividad mayor. Se sugiere que el área de juego sea de dos metros por metro y medio, aunque este espacio se puede personalizar. Esta personalización es lo que hace que la puesta en marcha de los dispositivos puede ser difícil y tediosa.

El sistema de realidad virtual HTC Vive se compone de gafas, mandos y bases de posicionamiento (Figuras 8 y 9) y también se adquirió con la financiación aportada.



**Figura 8. HTC Vive, gafas y controladores**



**Figura 9. Htc Vive, Bases de posicionamiento fijadas en el laboratorio**

Se instaló en un despacho de la Escuela Politécnica Superior de Zamora que se ha reconvertido en un laboratorio de Realidad Virtual (Figura 10).



**Figura 10. Laboratorio de Realidad Virtual en la EPS de Zamora**

## **4.2. Elección del software**

### **4.2.1. Software de modelado**

Se ha seleccionado Autodesk 3DS Max para realizar el modelado de entornos y piezas, debido principalmente a la versatilidad y la gran cantidad de documentación que existe de este software. Es el más utilizado en ingeniería, arquitectura y en la creación de videojuego. Además, Autodesk 3DS Max no requiere el pago de licencias si se utiliza con fines puramente educativos.

### **4.2.2. Software de programación, Motor de desarrollo**

La programación de la aplicación de realidad virtual se ha llevado a cabo utilizando Unreal Engine 4 (UE4) de la empresa "Epic Games", que permite programar sin necesidad de teclear código con un sistema de redes de nodos interconectados (llamados blueprint) que facilitan el trabajo. Además para las funciones más habituales existen blueprint ya programados. Con UE4 se puede ver en tiempo real lo que se está haciendo. Este motor de programación es ampliamente utilizado en la creación comercial de videojuegos y su licencia es gratuita si no se utiliza con fines lucrativos.

### 4.3. Diseño de la aplicación de RVI

Siguiendo lo expuesto en el apartado 3.3, relativo a como se crea la aplicación de RV, el primer paso es aplicar lo indicado por Pantelidis [39] y comprobar si el tema a tratar se puede lograr mediante simulación interactiva tridimensional. En este caso se va a enfocar en las asignaturas de normalización y representación de formas corpóreas y volúmenes tridimensionales que requieren de las habilidades espaciales.

Las asignaturas de este tipo, impartidas por el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería en las que se puede usar la RVI son:

- En el Grado de Ingeniería Mecánica (GIM): *Expresión Gráfica, Ingeniería Gráfica y CAD Mecánico.*
- En el Grado de Ingeniería Civil (GIC): *Expresión Gráfica II.*
- En el Grado de Ingeniería Agroalimentaria (GIA): *Expresión Gráfica.*
- En el Grado de Ingeniería Química (GIQ): *Expresión Gráfica.*

En ellas, el uso de piezas sólidas tridimensionales las hace idóneas para su modelado digital y su presentación en entornos tridimensionales de realidad virtual inmersiva.

#### 4.3.1. Descripción de los ejercicios

En la ingeniería tradicional se diseñan las piezas dibujando sus vistas ortográficas (planta, alzado y perfil) y con ellas se fabrica la pieza sólida tridimensional. En la **Ingeniería Inversa** que se imparte en las clases, el alumno parte de la pieza en tres dimensiones dibujada en un sistema de perspectiva caballera, isométrica o cónica (Figura 11) y tiene que obtener las vistas ortográficas necesarias para la correcta definición de la pieza (Figura 12).

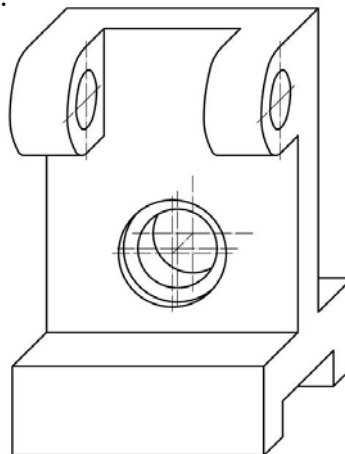
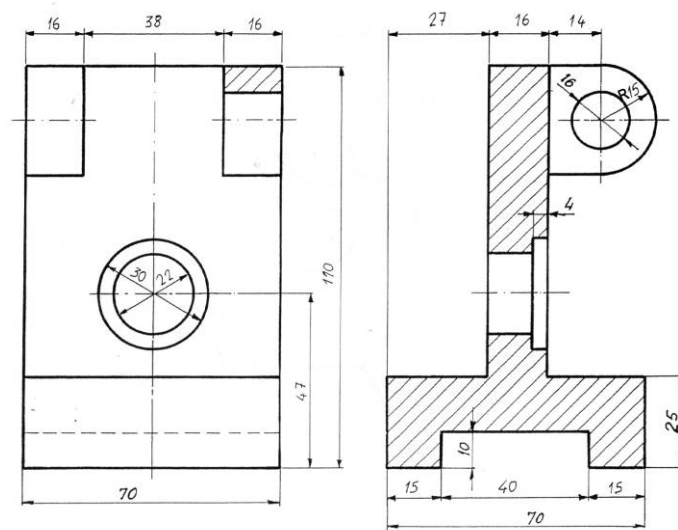


Figura 11. Pieza en perspectiva caballera



**Figura 12. Vistas ortográficas acotadas (alzado y perfil izquierdo)**

Este método presenta problemas por las deformaciones inherentes a los sistemas de perspectiva que pueden llevar a cometer errores en el visualizado de las vistas y en el dimensionado de las piezas. Para corregir este problema se pueden sustituir los dibujos en perspectiva por piezas reales (Figura 13). Se facilita la obtención de las vistas pero se añade la dificultad de medir las dimensiones (longitudes y ángulos) en piezas complejas. Además es necesario contar con un gran número de piezas para las prácticas siendo todas distintas y no se puede emplear la misma pieza por todos los alumnos en un ejercicio evaluado.



**Figura 13. Ejemplos de las colecciones de piezas reales**



El entorno tridimensional se ha elegido teniendo en cuenta que sea lo más sencillo posible para que no interfiera en la visualización de las piezas aunque deberá ser realista con la escala más adecuada, iluminación, sombras y materiales auténticos.

#### **4.4. Modelado de los entornos y objetos**

Las piezas y los entornos tridimensionales que las contienen se han modelado utilizando como referencia objetos reales de las colecciones que tienen los profesores que imparten las asignaturas (Figura 13) y prestando especial atención en los detalles de forma, materiales e iluminación.

Se modelan con el Autodesk 3DStudio MAX que es un software que permite tanto el modelado de cualquier objeto en tres dimensiones como la animación de dichos objetos. Usualmente en el trabajo con este programa, se siguen una serie de pasos que suelen llevar a un desarrollo correcto y eficiente.

**Recopilación de información:** este paso consiste en reconocer las características de aquello que se va a modelar ya sea mediante fotos, vídeos, planos o cualquier cosa que permita tener una mayor referencia visual de los objetos de la escena.

**Modelado:** aquí la idea es dar forma a toda aquella información visual que se ha obtenido en el primer paso, utilizando las diferentes herramientas que 3DStudio MAX aporta.

**Diseño de materiales:** llegados a este punto el paso a seguir es darle algún material al objeto que se está diseñando. Esto se hace mediante el Editor de Material que permite crear materiales realistas definiendo la jerarquía de las características de la superficie del objeto.

**Iluminación:** el diseño de una buena iluminación es parte fundamental para lograr resultados realistas de una escena. La iluminación permite establecer sombras, proyectar imágenes y crear efectos de volumen. 3DS MAX tiene dos tipos de luces, luces estándar (no usa valores físicos) y luces fotométricas (físicamente precisas).

**Colocación de cámaras:** esto permite establecer el punto de vista de la escena, estas cámaras tienen controles para los lentes, el campo de visión, el control de movimiento entre otros, como los que tendría una cámara real.

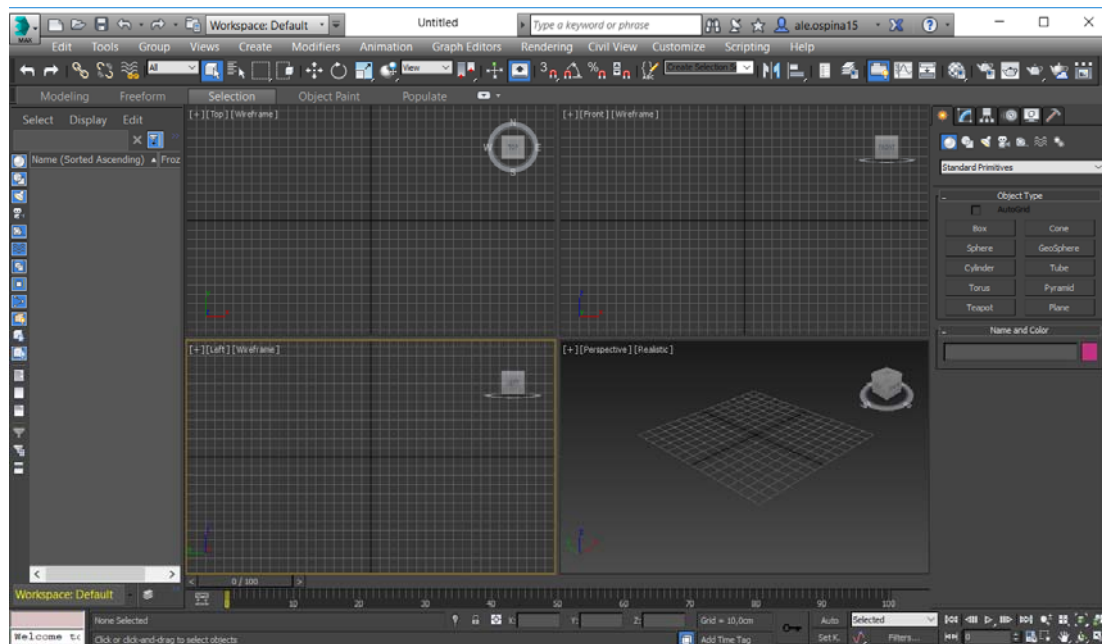
**Animación:** si es necesario para el objetivo que se busca en la escena, 3DS MAX permite animar de forma fácil los objetos de la escena.



**Renderizar:** durante todo el desarrollo se puede renderizar la escena para ver cómo está quedando, al hacerlo se puede ver cómo quedará la escena actual con el color y las sombras reales de la escena.

En este trabajo se aplican los tres primeros (información, modelado y materiales) ya que los modelos obtenidos se utilizan en el motor de desarrollo para obtener la herramienta interactiva. Esto obliga a que haya que hacer un paso intermedio de conversión de formatos de archivo para pasar de un programa a otro.

El 3DStudio MAX, como otros programas de modelado sólido, cuenta con una serie de menús y herramientas que permiten trabajar de manera correcta con la aplicación. Cuenta con una interfaz bastante intuitiva (Figura 15) que por defecto muestra prácticamente todas las herramientas que el usuario suele necesitar a la hora de modelar.



**Figura 15. Interfaz del 3DStudio Max**

Se modeló un conjunto de piezas de las colecciones de ejercicios empleadas en las clases. Se clasificaron según su dificultad y se eligieron de forma que hubiera piezas de dificultad variable y creciente.

Algunas de ellas se muestran en la Figura 16:



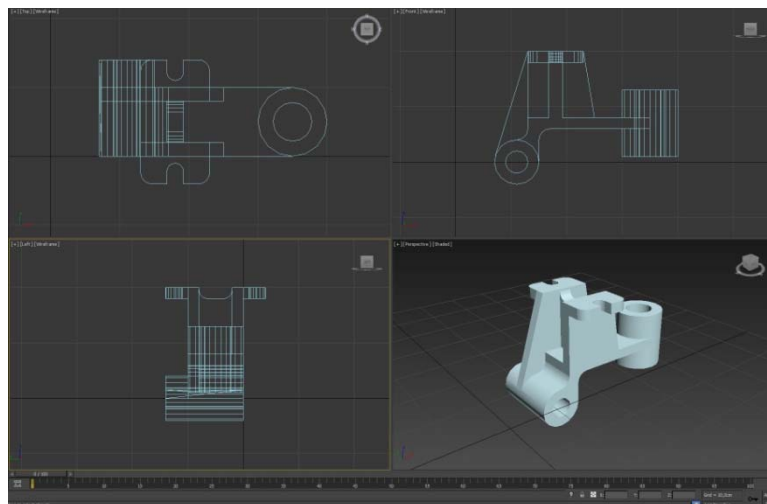
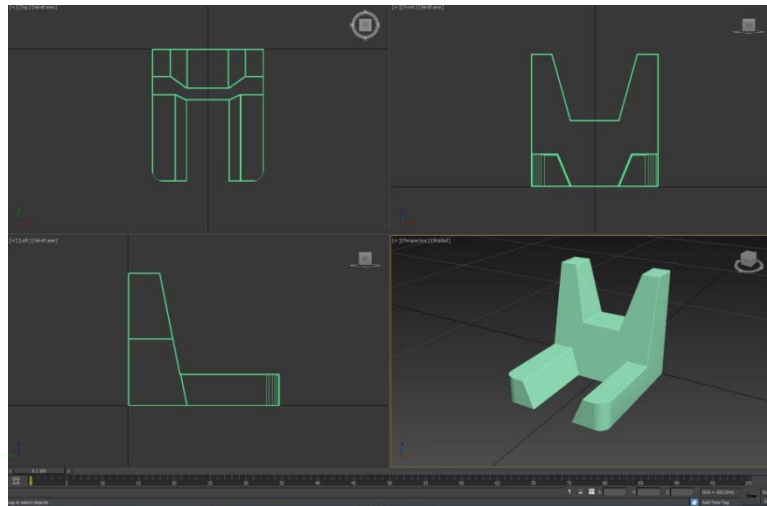
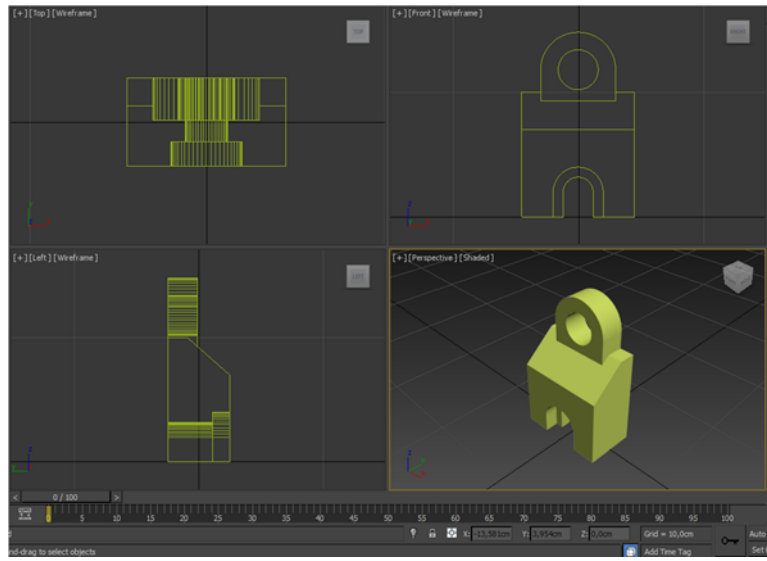


Figura 15. Algunas de las piezas modeladas

Como se dijo antes, es necesario convertir los modelos de las piezas en un formato de archivo reconocible por el motor de desarrollo que en este caso es el Unreal Engine 4. El procedimiento es relativamente sencillo, consiste en guardar la pieza a exportar en formato FBX en el 3DStudio MAX (Figura 16) y luego importarlo en Unreal Engine 4. El FBX es un formato propio de Autodesk que permite el intercambio entre aplicaciones de creación digital de contenido.

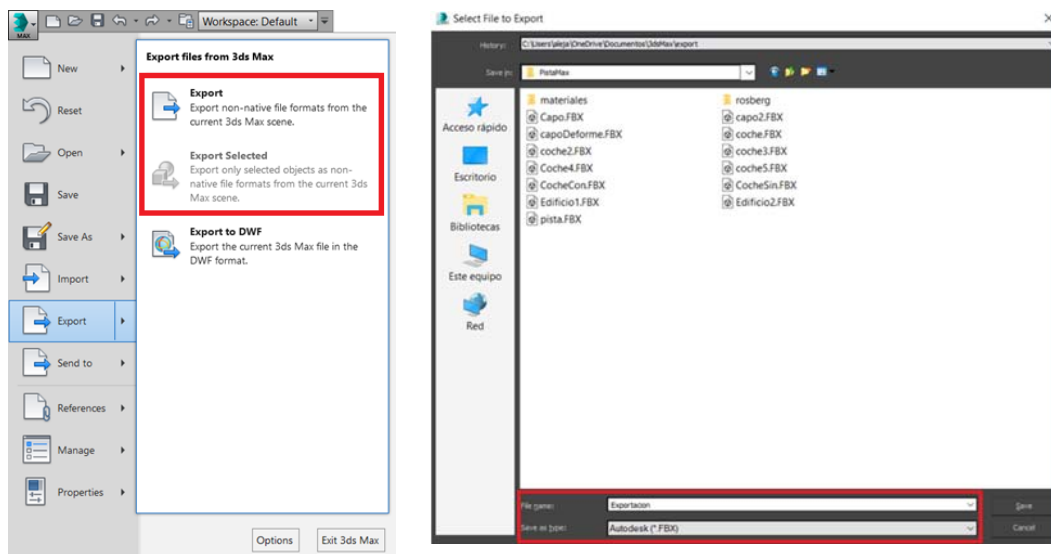


Figura 16. Exportación de FBX

#### 4.5. Programación de la aplicación de RVI

Como se dijo antes el motor de desarrollo elegido es el Unreal Engine 4 que es una aplicación con rutinas de programación para el diseño, la creación y la representación de un videojuego. Unreal Engine fue creado por la compañía Epic Games. Actualmente se encuentra la versión cuatro, versión diseñada para las plataformas Microsoft Windows, MacOS, Linux, SteamOS, HTML5, iOS, Android, Play Station 4, Nintendo Switch, Xbox One y también para plataformas de realidad virtual como SteamVR/HTC Vive, Oculus Rift, Play Station VR, Google Daydream, OSVR y Samsung Gear VR.

##### 4.5.1. Conceptos

**Proyecto** es un contenedor en el que se encuentra todo el contenido y el código que conforman una aplicación que se esté desarrollando. El Proyecto coincidirá con una serie de directorios que se guardarán en el ordenador donde se está trabajando.

**Objeto**, hace referencia a los bloques de construcción básicos de Unreal Engine. Contienen funcionalidades esenciales para el correcto funcionamiento de la aplicación.

**Actor** es cualquier objeto que se puede poner dentro del nivel que se está diseñando. Los Actores soportan transformaciones 3D como posicionamiento, rotación y escalado. Además, se pueden programar para ser creados y destruidos durante el funcionamiento de la aplicación.

**Clases**, definen el comportamiento y las propiedades de un Actor o un Objeto de UE4. Las Clases son jerárquicas, es decir, las Clases heredan la información de su Clase padre.

**Componente** es una funcionalidad que puede ser agregada a un Actor. Los Componentes por si solos no existen, pero cuando se le da a un Actor este podrá acceder a la funcionalidad que el Componente le otorga.

**Peón** es una subclase del Actor y suele servir como avatar dentro de la aplicación, también existe una subclase del Peón llamada Personaje, el objetivo de este es ser usado como el personaje para el que utiliza la aplicación.

**Nivel** o **Mapa** es un área definida por el usuario como área de juego. Los diferentes Niveles están contenidos en el Mundo que se encarga del control de niveles y de la creación de actores dinámicos.

#### 4.5.2. Herramientas y editores

El inicio de un proyecto en UE4 es una ventana llamada Buscador de Proyecto Unreal (Figura 17) en la que se puede elegir algunas características del proyecto como el hardware para el que va a estar destinada la aplicación o la calidad de la misma.



Figura 17. Buscador de Proyecto Unreal

Para crear la aplicación existen una serie de editores que permiten programar, controlar y diseñar los distintos objetos del proyecto.

**Editor de Nivel** (Figura 18) es el editor principal usado para construir los niveles del juego. De forma general, es aquí donde se define el espacio de juego agregando diferentes tipos de Actores y Geometrías, Blueprints, etc.

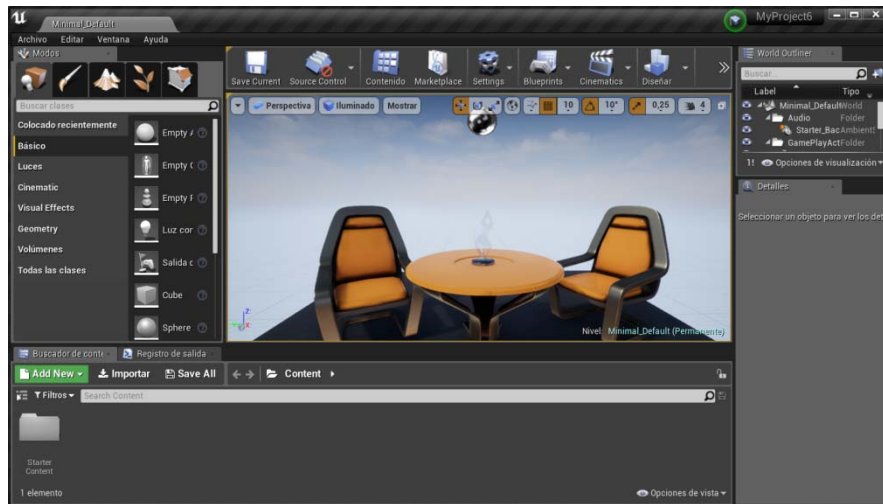


Figura 18. Editor de Nivel

**Editor de materiales**, es una interfaz gráfica basada en nodos que permite crear los materiales que pueden aplicarse a las diferentes geometrías del nivel. Aquí se pueden manejar las diferentes características de un material y modificarlas tan solo conectando nodos como se muestra en la Figura 19.

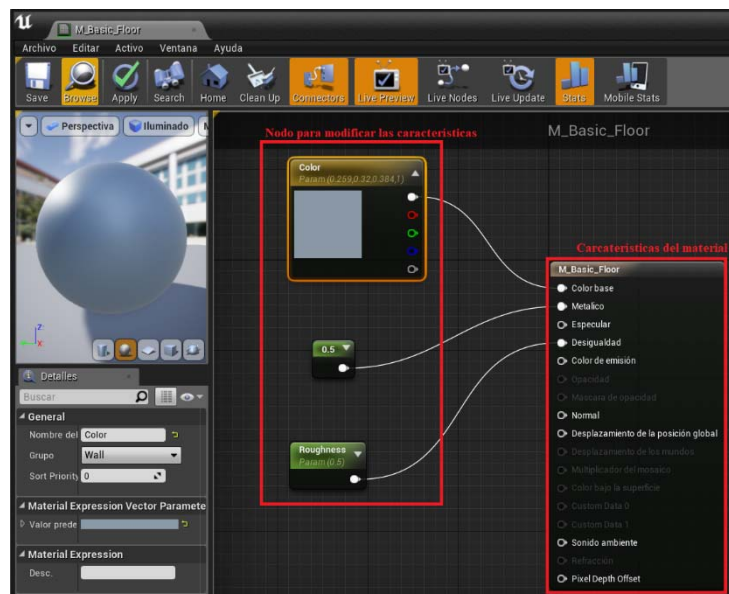
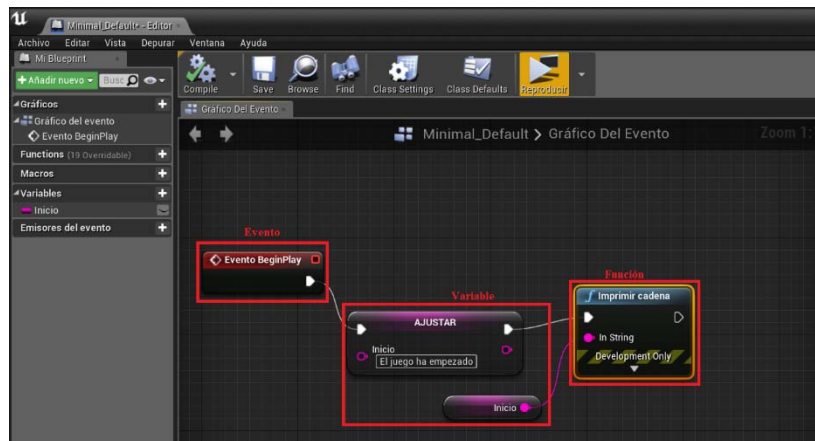


Figura 19. Editor de Materiales

**Editor de Blueprints**, es donde se realiza la programación, se trabajan y modifican los Blueprints (Figura 20), estos son activos controlan eventos del nivel, comportamientos propios de un actor, etc.

Los Blueprints, como otros lenguajes de programación, se usan para definir clases de objetos y objetos. Permiten crear elementos complejos del juego conectando Nodos, Eventos, Funciones y Variables mediante “conexiones”.



**Figura 20. Editor de Blueprints**

Los Blueprints no son solo del nivel, también se puede crear Blueprints para cada uno de los actores del proyecto y de esta manera se podrá controlar el comportamiento de los actores. La ventana de los Blueprints de actores está compuesta por tres pestañas: ventana gráfica, construction script y gráfico del evento.

### **4.5.3. Configuración de un Proyecto UE4 con HTC Vive**

Una forma para hacer que funcionen las HTC Vive con UE4 es a través de SteamVR, un sistema de realidad virtual desarrollado por Valve que soporta diferentes dispositivos como las HTC Vive.

Para conectar UE4 con SteamVR lo que hay que hacer es simplemente abrir SteamVR, conectar las gafas HTC Vive al PC y esperar a que sean detectadas por SteamVR. Cuando estén listas para usarse estarán encendidos los distintos íconos en SteamVR (Figura 21), y posteriormente se debe abrir la aplicación de Unreal Engine.

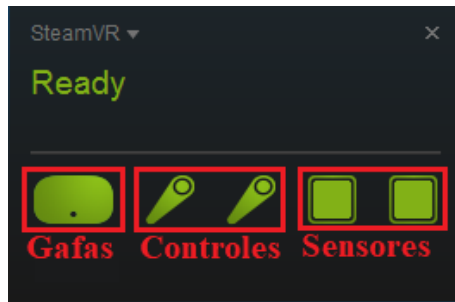


Figura 21. SteamVR

#### 4.5.4. Importación en Unreal de los modelos de 3DStudio MAX

La importación a Unreal Engine es relativamente sencilla, primero se hace clic sobre la opción importar cuando ya se haya seleccionado la carpeta donde se va a guardar el objeto que se va a importar. Luego se abrirá la ventana en donde se seleccionará el archivo FBX que antes se ha exportado desde 3DS MAX (Figura 22). Después se abrirán las opciones de importación donde se seleccionarán aquellas características que se van a utilizar en el proyecto.

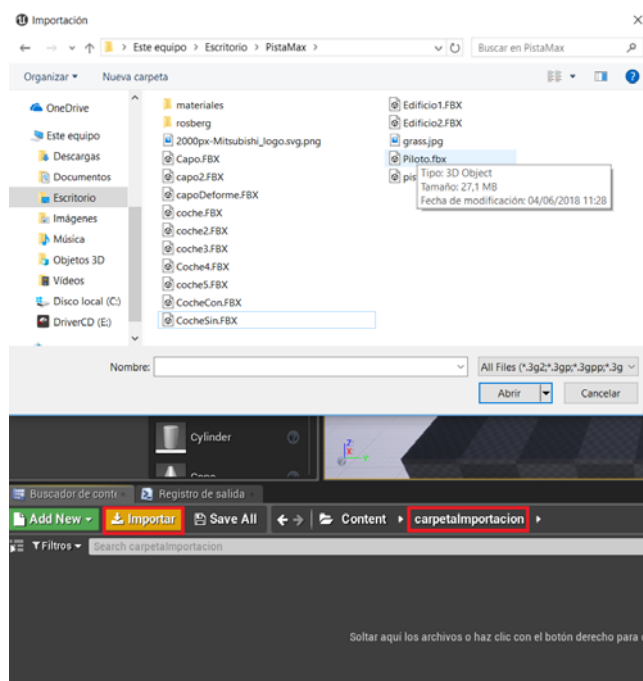


Figura 22. Importación de FBX

#### 4.5.5. Descripción de la aplicación creada

Para crear la aplicación se comenzó con una plantilla de las que aporta el Unreal y se incorporaron los modelos creados en 3DStudio MAX añadiendo la programación necesaria para la interacción con ellos. Las Figuras 23 y 24 muestran los modelos en Unreal y el código incluido en el Blueprint correspondiente:

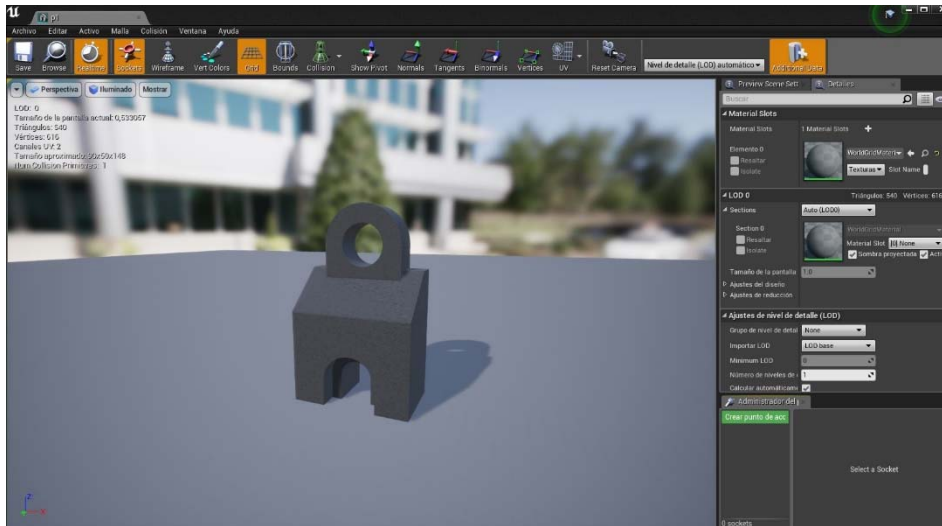


Figura 23. Modelo importado en el editor de propiedades

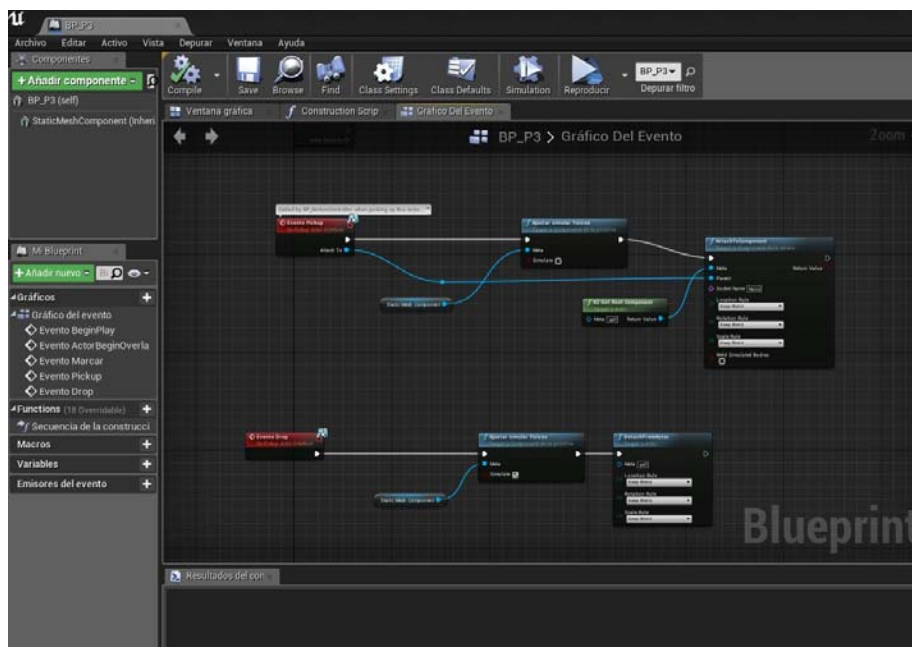


Figura 24. Blueprint de control del modelo importado



Al terminar se obtienen las piezas en el entorno (Figura 25) y se puede interactuar con ellas, cogiéndolas, girándolas en la mano y viéndolas desde distintos puntos de vista.

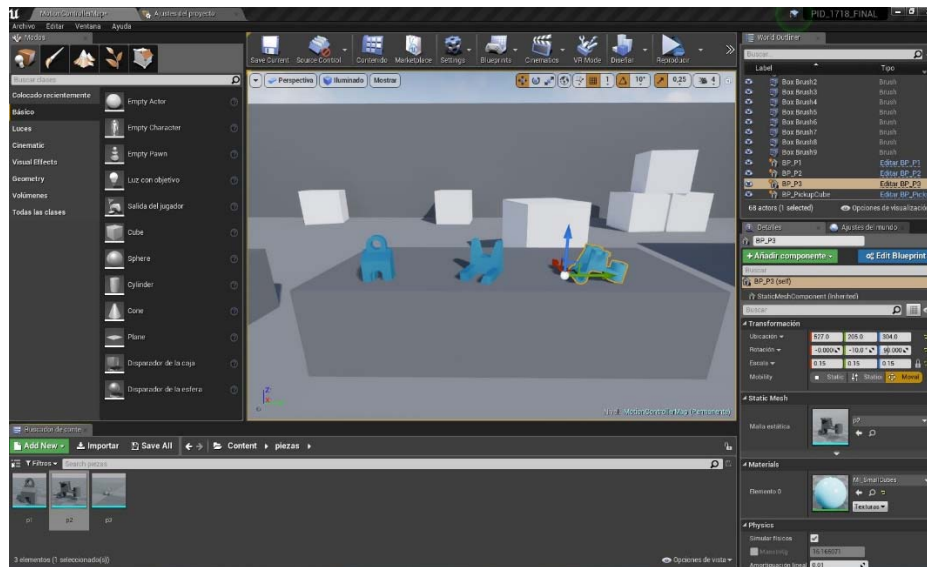


Figura 25. Entorno con las piezas en Unreal.

Cuando se inicia la aplicación el alumno se encuentra en el centro del entorno, ve unas manos virtuales y se puede mover caminando o mediante saltos a la mesa que contiene las piezas. Una vez que ha llegado interactúa con ellas. En las Figuras 26 y 27 se muestran capturas de lo que se ve.

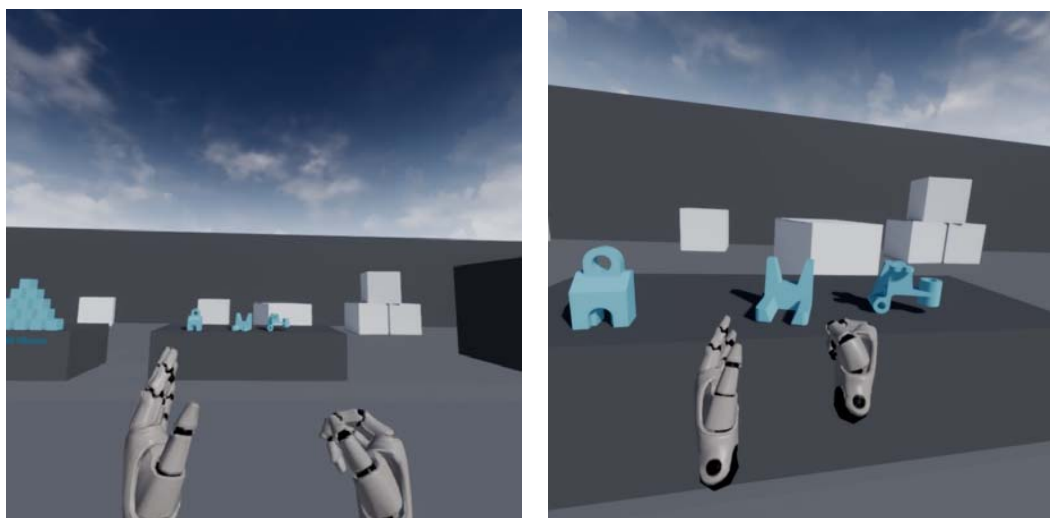


Figura 26. Imágenes del entorno con las manos virtuales y el usuario acercándose.



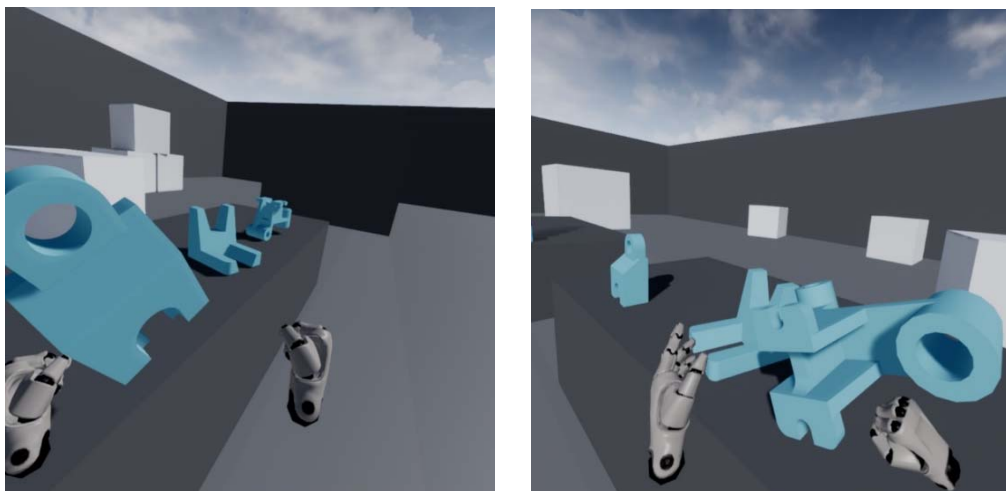


Figura 27. Usuario cogiendo las piezas y moviendolas delante de la cara.

## 5. METODOLOGÍA DE USO EN LAS CLASES

Se ha desarrollado un procedimiento de uso de la aplicación en las asignaturas teniendo en cuenta que no se puede utilizar en todos los alumnos. Esta metodología tiene las siguientes fases:

**Presentación del programa:** Al comenzar el período lectivo de la asignatura implicada, en la primera clase se realiza la presentación de la misma y se comentan los siguientes aspectos:

- Importancia de las habilidades espaciales en el desempeño profesional del ingeniero, así como en el rendimiento académico de los estudiantes de carreras técnicas, en particular en las asignaturas de Expresión Gráfica.
- Causas que explican el deficiente desarrollo de las habilidades espaciales en los estudiantes de carreras técnicas.
- Justificación del uso de la aplicación de realidad virtual y conveniencia de involucrarse en el mismo.
- Fases en que se desarrolla el programa y cronograma de actividades.

**Evaluación inicial:** del nivel de las habilidades espaciales de los alumnos matriculados en las asignaturas destinatarias del mismo, mediante la administración al principio del semestre de los test MRT [14] y PSVT:R [15] (apartado 2.2).

**Identificación:** de los estudiantes con habilidades espaciales menos desarrolladas en relación a los valores medios en las distintas asignaturas, en virtud de los resultados de los test. Se considera que los alumnos con puntuación mayor o igual a 14 tienen un nivel de habilidades espaciales suficiente para el correcto seguimiento de la asignatura.

**Aplicación:** de la herramienta de realidad virtual a los alumnos con pobres resultados en los test en tres sesiones de complejidad creciente a lo largo de los dos primeros meses del semestre. Ha de tenerse en cuenta que este entrenamiento tiene que ser al inicio de la asignatura para el correcto seguimiento de la misma.

**Evaluación:** de la mejora obtenida en las habilidades espaciales mediante la administración al final del semestre de los mismos test empleados al principio.

## 6. RESULTADOS

Como se indica en el punto anterior, el uso de esta metodología debe hacerse al inicio de la asignatura, lo que no ha podido realizarse este curso ya que el proceso de crear la herramienta de realidad virtual en todas sus fases fue laborioso y ocupó casi todo el tiempo del semestre. Solo se probó con algunos alumnos para evaluar su funcionamiento y poder hacer las correcciones necesarias y eso al final del semestre.

Se espera poder aplicarlo en el próximo curso desde el comienzo de cada asignatura y así poder evaluar los resultados.

## 7. CONCLUSIONES

Se ha conseguido diseñar y programar una herramienta informática de Realidad Virtual haciendo todos los estudios del estado del arte necesarios y eligiendo los sistemas de evaluación, hardware y software más adecuados. Gracias a la financiación concedida dentro de este *Proyecto de innovación y mejora docente* se adquirió el equipamiento necesario para el desarrollo del mismo.

La aplicación en las asignaturas no fue posible y se espera poder hacerlo en el próximo curso.

## 8. REFERENCIAS

[1] Sorby, S.A. (1999). Developing 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63 (2), 21-32.

- [2] Rafi, A., Samsudin, K.A., Said, C.H. (2008). Training in spatial visualization: The effects of training method and gender. *Educational Technology & Society*, 11(3), 127-140.
- [3] Martín, J., Martín, N., Saorín, J.L., Contero, M., Navarro, N. (2009). La capacidad de visión espacial en el contexto del espacio europeo de educación superior. *Actas de congreso: XXI INGEGRAF*. Lugo, España.
- [4] Adánez, G.P., Velasco, A.D. (2002). Construção de um teste de visualização a partir da psicologia cognitiva. *Avaliação Psicológica*, 1(1), 39-47.
- [5] Uttal, D.H., Miller, D.I. y Newcombe, N.S., (2013). Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), pp.367–373.
- [6] Wang, Ch. X., Zhao, Q., Sun, W., Wan, X., & Cui, Q. (2012). 3D Scene of virtual reality system design and research. *Key Engineering Materials*, 522, 761–768.
- [7] Thurstone, L.L., 1938. *Primary mental abilities*, Chicago: University of Chicago Press.
- [8] Guilford, J.P. y Lacy, J.I., 1947. *Printed classification tests*, Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office.
- [9] Hsi, S., Linn, M.C. y Bell, J.E., 1997. The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), pp. 151–158.
- [10] Simoneau, J., Fortin, C. y Ferguson, R.J., 1987. Using 3-D industrial software in a teaching environment. En *Proceedings Annual Mid-Year Meeting of the Engineering Design Graphics Division of the American Society for Engineering Education*. Austin, Texas.
- [11] Sorby, S.A. y Baartmans, B.J., 1996. A course for the development of 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 60(1), pp. 13–20.
- [12] Ursyn, A., 1997. Computer art graphics integration of art and science. *Learning and Instruction*, 7(1), pp. 65–86.
- [13] Eliot, J. y Smith, I.M., 1983. *An international directory of spatial tests*, Windsor, Berkshire: NFER-Nelson.
- [14] Vandenberg, S.G. y Kuse, A.R., 1978. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), pp. 599–604.

[15] Guay, R.B., 1977. *Purdue Spatial Visualization Tests*, West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.

[16] Guay, R.B., 1980. Spatial ability measurement: a critique and an alternative. En 1980 Annual Meeting of the American Educational Research Association. Boston, MA.

[17] Bennett, G.K., Seashore, H.G. y Wesman, A.G., 1973. *Differential aptitude tests, forms S and T*, New York: The Psychological Corporation.

[18] Likert, R., 1970. *The Revised Minnesota Paper Form Board Test Manual*, New York: The Psychological Corporation.

[19] Branoff, T.J., 2000. Spatial Visualization Measurement: A Modification of the Purdue Spatial Visualization Test - Visualization of Rotations. *Engineering Design Graphics Journal*, 64(2), pp. 14–22.

[20] Shepard, R.N. y Metzler, J., 1971. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, pp. 701–703.

[21] Dorval, M. y Pepin, M., 1986. Effect of playing a video game on a measure of spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 62(1), pp. 159–162.

[22] Gian Carlo Valdizán Cassinelli, 2003. Realidad Virtual del Marco teórico de Manejo de nuevas tecnologías de información en la empresa privada: Desarrollo de proyectos en el área Gráfica de la empresa Simation S.A.C., pp. 22-23.

[23] Boletsis, C., 2017. The new era of virtual reality locomotion: a systematic literature review of techniques and a proposed typology. *Multimodal Technologies Interact*, 1, 24.

[24] Nguyen, M.; Tran, H.; Le, H., 2017. Exploration of the 3D world on the internet using commodity virtual reality devices. *Multimodal Technologies Interact.*, 1, 15.

[25] Bhattacharjee, D.; Paul, A.; Kim, J.H.; Karthigaikumar, P., 2018. An immersive learning model using evolutionary learning. *Comput. Electr. Eng.*, 65, pp. 236–49.

[26] de Freitas, S.; Rebolledo-Mendez, G.; Liarokapis, F.; Magoulas, G.; Poulouvassilis, A., 2010. Learning as immersive experiences: Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. *British J. Educ. Tech.*, 41, pp. 69–85.

[27] Lee, E.A.L.; Wong, K.W., 2014. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Comput. Educ.*, 79, pp. 49–58.

[28] Parong, J.; Mayer, R.E., 2018. Learning science in immersive virtual reality. *J. Educ. Psychol.*, pp. 1–13

[29] Gao, Z.; Liu, S.; Ji, M.; Liang, L., 2011. Virtual hydraulic experiments in courseware: 2D virtual circuits and 3D virtual equipments. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 19, pp. 315–326.

[30] Hashemipour, M.; Manesh, H.F.; Bal, M., 2011. A modular virtual reality system for engineering laboratory education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 19, pp. 305–314.

[31] Xiang, S.; Wang, L.Ch., 2017. VGLS: a virtual geophysical laboratory system based on C# and Viustools and its application for geophysical education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*

[32] Sampaio, A.Z., 2012. Virtual reality technology applied in teaching and research in civil engineering education. *J. Inf. Tech. Appl. Educ.*, 1, pp. 152–163.

[33] Crespo, R.; García, R.; Quiroz, S., 2015. Virtual reality application for simulation and off-line programming of the Mitsubishi move master RV-M1 robot integrated with the oculus rift to improve students training. *Proc. Comput. Sci.*, 75, pp. 107–112.

[34] Górski, F.; Buń, P.; Wichniarek, R.; Zawadzki, P.; Hamrol, A., 2015. Immersive city bus configuration system for marketing and sales education. *Proc. Comput. Sci.*, 75, pp. 137–146.

[35] Arnay, R.; Hernández-Aceituno, J.; González, E.; Acosta, L., 2017. Teaching kinematics with interactive schematics and 3D models. *Comput. Appl. Eng. Educ.*

[36] Chou, Ch.; Hsu, H.-L.; Yao, Y.-S., 1997. Construction of a virtual reality learning environment for teaching structural analysis. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 5, pp. 223–230.

[37] De Sousa, M.P.A.; Filho, M.R.; Nunes, M.V.A.; Lopes, A.d.C., 2012. A 3D learning tool for a hydroelectric unit. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 20, pp. 269–279.

[38] Villagrasa, S.; Fonseca, D.; Durán, J., 2014. Teaching case: applying gamification techniques and virtual reality for learning building engineering 3D arts. In *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for*

Enhancing Multiculturality, Salamanca (Spain),; ACM: New York, USA; pp. 171–177.

[39] Pantelidis, V.S., 1997. Virtual reality and engineering education. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 5, pp. 3–12.

[40] Vergara, D.; Rubio, M.P.; Lorenzo, M., 2017. On the design of virtual reality learning environments in engineering. *Multimodal Tech. Interact.*, 1, 11

[41] Aukstakalnis, S.; Blatner, D. 1992. *Silicon mirage; the art and science of virtual reality*; ACM, Digital Library, Peachpit Press Berkeley: CA, USA,.

[42] Sanjuán, J. M. 2014. *La habilidad espacial en los estudiantes de carreras técnicas. Desarrollo, medida y evaluación en el Marco europeo de Educación Superior* (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).



Fdo. MANUEL PABLO RUBIO CAVERO

Profesor Coordinador del Proyecto

Zamora, 13 de Julio de 2018