



Universidad
de La Laguna

Escuela Politécnica
Superior de Ingeniería
Sección de Ingeniería Civil

Trabajo Fin de Grado

**REALIDAD VIRTUAL APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL. ESTUDIO DE
APLICACIÓN DE SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN Y ANOTACIÓN
INTERACTIVA EN INFRAESTRUCTURAS CIVILES.**

Para optar al título de: Graduado/a en Ingeniería Civil

Autor/es: Carolina Lorenzo Méndez

Tutor/es: Carlos Carbonell Carrera
Norena Martín Dorta

Septiembre de 2017



Universidad
de La Laguna

Escuela Politécnica
Superior de Ingeniería
Sección de Ingeniería Civil

Trabajo Fin de Grado

REALIDAD VIRTUAL APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL. ESTUDIO DE
APLICACIÓN DE SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN Y ANOTACIÓN
INTERACTIVA EN INFRAESTRUCTURAS CIVILES.

Documento nº 1

Memoria

Para optar al título de: Graduado/a en Ingeniería Civil

Autor/es: Carolina Lorenzo Méndez

Tutor/es: Carlos Carbonell Carrera
Norena Martín Dorta

Septiembre de 2017

ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1. Objetivos	9
1.2. Alcance	10
1.3. Antecedentes	10
2. Virtualización de una infraestructura	15
2.1. Aplicaciones comerciales para la virtualización	15
2.1.1. Virtualización de infraestructuras	19
2.2. Aplicaciones de Videojuegos aplicadas a la Ingeniería	23
2.2.1. Unity Engine	23
3. Virtualización de una infraestructura.	24
Caso práctico de un modelo BIM de Infracore	
3.1. Desarrollo de la aplicación en Unity Engine	24
4. Conclusiones	32
5. Agradecimientos	34
6. Bibliografía	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes Comision BIM en España. Fuente: es.BIM, 2016.	7
Figura 2. Ejemplo de vista panorámica creada en Render Cloud. Fuente: Elaboración propia.	9
Figura 3. Dispositivos de Realidad Virtual con soporte en ordenador. Fuente: Google Imágenes.	12
Figura 4. Dispositivos de Realidad Virtual con soporte en smartphone. Fuente: Google Imágenes.	13
Figura 5. Application Stage of VR Glasses (Niveles de aplicación de gafas de Realidad Virtual) Fuente: Autodesk University, 2015.	14
Figura 6. Interfaz de Enscape en Revit. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 7. Captura de pantalla de la escena de Enscape. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 8. Página de InsiteVR para cargar el proyecto que se desea visualizar. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 9. Proyecto cargado en aplicación de Windows y con un comentario añadido. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 10. Relación proyecto-dispositivo de visualización. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 11. Vista de la aplicación Kubity en el ordenador. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 12. Código QR para la aplicación del móvil. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 13. Vista del modelo en la aplicación del móvil. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 14. Vista estereoscópica panorámica para gafas Google Cardboard. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 15. Interfaz Unity Personal. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 16. Escena de GoogleVR: GVRDemo. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 17. Interfaz con el modelo BIM importado. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 18. Pestaña <i>Inspector</i> . Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 19. Ventana de Visual Studio con script desarrollado para el control del mando. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 20. Script para configurar una respuesta ante los comandos del mando. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 21. Iluminación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 22. Ventana <i>Game</i> . Proyecto en prueba. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 23. Menú de selección del tipo de aplicación. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 24. Vista estereoscópica del modelo en la aplicación para móvil. Fuente: Elaboración propia.	30

Figura 25. Flujo de pasos para crear una aplicación móvil en Unity. Fuente: Elaboración propia.

31

1. Introducción

Antes de profundizar en el mundo de la Realidad Virtual y sus aplicaciones, es necesario definir y entender la nueva metodología con la que construye el ingeniero y gracias a la cual es posible hacer uso de los dispositivos de visualización 3D: el BIM.

El Building Information Modeling (BIM) es una herramienta tecnológica para la gestión de proyectos que, a través de un modelo digital 3D, reduce costes y mejora la calidad de los proyectos de construcción, poniendo en común el trabajo de arquitectos, constructores y fabricantes, ingenieros industriales, civiles y estructurales y clientes. (“Estándares en apoyo del BIM”, 2016, p.)

Esta metodología de trabajo se entiende como la evolución del CAD (Computer Aided Design), donde no se dibuja sino se construye, donde un único modelo compromete mucha más información que un dibujo CAD y donde cada objeto contiene una información, unas propiedades y una “lógica constructiva” que evita que se produzcan incongruencias en el diseño (AENOR, 2016).

Algunas de las ventajas más destacables del BIM son:

- Permite el trabajo colaborativo a través de una sola plataforma de los diferentes agentes implicados en el proceso constructivo. Mejora la comunicación y los flujos de información (CICE, 2017).
- Mejor visualización y comprensión del proyecto gracias a su interfaz 3D. Los errores resultan más evidentes que en una vista 2D y se reducen costes futuros en obra.
- Cualquier modificación en el diseño del modelo se aplica automáticamente en todas las vistas. Proporciona una garantía de calidad en la coordinación automática de los diferentes puntos de vista.
- Los modelos BIM contienen información útil aplicable en todas las fases del ciclo de vida del edificio. Se reducen costes de operación y mantenimiento.
- Diseño sostenible. BIM permite a los usuarios evaluar el rendimiento energético del edificio, lo que favorece una construcción sostenible, eficiente e integrada con el entorno.
- Todos los programas BIM comparten un modelo de datos que garantiza la interoperabilidad entre ellos. El formato IFC (Industry Foundation Classes) permite la

modificación e intercambio de información entre los distintos software BIM compatibles con este tipo de archivo.

Según el Informe de Normalización *Estándares en apoyo del BIM* de AENOR (2016, p.4): “Se estima que el BIM podría ajustar las mediciones del proyecto en un 37% y reducir en un 20% los costes de construcción de edificios.”

Se debe tener en cuenta que la implantación de este nuevo método de trabajo es algo inminente: “más del 50% de los clientes internacionales de las constructoras exigen o tienen interés en el uso de BIM” (Estándares en apoyo del BIM, 2016, p.4). En los países nórdicos y anglosajones es obligatorio el uso del BIM, mientras que en España su uso será obligatorio en licitaciones públicas de edificación a partir de diciembre de 2018, y en licitaciones públicas de infraestructuras a partir de julio de 2019. Para que este Plan de Implantación se lleve a cabo en España surge en 2014 de la mano del Ministerio de Fomento la iniciativa *es.BIM* (<http://www.esbim.es/>), un grupo de colaboración público-privado, multidisciplinar y abierto a todos los agentes implicados: administraciones, ingenierías, constructoras, universidades... Algunos Organismos e Instituciones que componen la Comisión BIM (la encargada de impulsar el mandato que acelere los objetivos de implantación) son los que se muestran a continuación:



Figura 1. Componentes Comisión BIM en España. Fuente: es.BIM, 2016.

El principal objetivo que se persigue mediante la implantación del BIM en España es aumentar la productividad del sector de la construcción y ahorrar de forma significativa el gasto en mantenimiento de activos, así como aumentar la calidad y reducir costes en proyectos y obras, adaptarse a las nuevas tendencias internacionales y dinamizar el mercado de las infraestructuras, generar una mejora en la industria nacional y lograr un mayor enfoque hacia la sostenibilidad de las infraestructuras, entre otros. (es.BIM, 2016)

Algunas de las principales plataformas BIM que se emplean para el desarrollo de proyectos de edificación son:

- REVIT (AUTODESK)
- ARCHICAD (GRAPHISOFT)
- ALLPLAN (NEMETSCHEK)
- BENTLEY ARCHITECTURE (BENTLEY)

Si se habla exclusivamente de Ingeniería Civil y de software de la compañía Autodesk, los programas más recurridos son: AutoCAD Civil 3D, Infraworks, Navisworks y Revit.

De forma general, se suele hacer un uso combinado de estos softwares para obtener un resultado completo y de calidad. Por ejemplo, se puede modelar a nivel de diseño preliminar con mayor rapidez en Infraworks y, a continuación, exportar el modelo a AutoCAD Civil 3D para realizar las tareas de diseño de detalle, además de análisis y modificaciones en el modelo.

Resulta una ventaja considerable la interoperabilidad de este conjunto de programas, donde los datos de uno pueden ser incorporados a otro mediante referencias a un modelo local, al igual que el poder trabajar exportando el proyecto sin sufrir pérdidas de información. Esta ventaja responde a la razón de que cada uno de los programas que se empleen puede hacer aportaciones diferentes con funciones presentes únicamente en ese software, dotando así al proyecto de unas características e información muy completas.

Una de las funciones destacables que ofrecen estos programas se trata del recorrido virtual. Esta será la herramienta que permita al usuario navegar y adentrarse en primera persona en su proyecto y explotar la característica del visualizado en 3D. Gracias a esta herramienta y a la vista panorámica que se puede crear con los modelos BIM, la Realidad Virtual se convierte en un elemento de visualización a tener en cuenta en el sector AEC/O (Architecture, Engineering, Construction & Operation) para el desarrollo y exposición de proyectos, ya que convierte la presentación de estos en una experiencia mucho más cercana e interactiva.

1.1. Objetivos

El objetivo del presente trabajo consiste en estudiar las diferentes alternativas existentes para la visualización e interacción 3D en Realidad Virtual a partir de modelos BIM, centrándose en el campo de la Ingeniería Civil. La premisa es usar aplicaciones comerciales, evaluándolas y analizando las funcionalidades de cada una de ellas.

El objeto común para la visualización 3D y que aporta al usuario la sensación de inmersión en el proyecto construido es el casco o gafas de realidad virtual. Junto con este objeto se pueden encontrar otros dispositivos como pueden ser mandos con control de movimiento, guantes o trajes con sensores, o cámaras de posicionamiento que permiten una mayor interacción con el entorno así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad. Pero estos dispositivos no generan el entorno virtual por sí mismos, sino que dependen de un sistema informático que lo genere. Debido a esto, hay una amplia diversidad de productos que ofrecen la creación de un espacio virtual a partir de los modelos creados con metodologías BIM, y bien pueden ser en calidad de vistas panorámicas o recorridos virtuales. Se entiende por *vista panorámica* una imagen compuesta por una sucesión de fotografías creando un panorama, es decir, se crea una imagen con un amplio horizonte visual; y por *recorrido virtual*, la acción de desplazarse dentro del proyecto construido en BIM.



Figura 2. Ejemplo de vista panorámica creada en *Render Cloud*. Fuente: Elaboración propia.

No existen aplicaciones o plugins (extensiones) para todos y cada uno de los software BIM que se emplean en Ingeniería Civil, pero como ha sido mencionado anteriormente, gracias a la interoperabilidad de estos programas, un modelo puede ser exportado de un programa a otro que sí posea un plugin que desarrolle una vista panorámica estereoscópica, permitiendo al usuario visualizarla posteriormente con su dispositivo de Realidad Virtual. Por ejemplo, se

construye un modelo en Infracore que luego puede ser exportado a Revit, puesto que la mayoría de aplicaciones se han desarrollado para este software.

Al igual que existen distintos programas informáticos que procesan una representación virtual en 3D, también existen distintas opciones para el soporte virtual de las gafas, es decir, estas bien pueden ser conectadas inalámbricamente a un ordenador o se les puede incorporar un dispositivo móvil en su diseño.

Como causa de tal variedad en opciones para la visualización interactiva de infraestructuras, donde se puede observar o recorrer el proyecto, realizar modificaciones o anotar comentarios en la escena, en este trabajo se observarán las fortalezas y debilidades de algunos softwares de Realidad Virtual, al igual que de los distintos tipos de gafas con las que el ingeniero puede contar para visualizar sus proyectos.

1.2. Alcance

Aunque la Realidad Virtual experimente su mayor desarrollo y explotación en el mundo de los videojuegos, esta herramienta puede ser de gran utilidad en el sector AEC/O. Gracias a las gafas de Realidad Virtual se consigue observar y analizar el proyecto con otro punto de vista más cercano e interactivo. La característica inmersiva que poseen estos dispositivos facilitan la percepción de errores, al igual que si se desean realizar modificaciones en el diseño, éstas pueden llevarse a cabo en tiempo real.

Vender o publicar un proyecto propio es de gran importancia hoy en día, por ello que, contar con herramientas que potencien las características visuales de los proyectos es una gran ventaja a la hora de vender o exponer una propuesta porque, aunque sea una tecnología cada vez más asequible, el desconocimiento en su utilización la convierte en una excepción al uso. Gracias al uso de la Realidad Virtual un proyecto puede destacar sobre otros tantos propuestos, solo hay que ser consciente de las herramientas de las que se dispone y explotarlas.

1.3. Antecedentes

Las gafas de Realidad Virtual o HMD (Head-Mounted Display) se definen como “dispositivo de visualización que permite reproducir imágenes creadas por ordenador sobre una pantalla muy cercana a los ojos. [...] Debido a su proximidad con los ojos, las gafas consiguen que las imágenes visualizadas resulten mucho mayores que las percibidas por pantallas normales e incluso pueden englobar todo el campo de visión del usuario” (Wikipedia, 2017). Gracias a que

estas se encuentran sujetas a la cabeza pueden seguir los movimientos del usuario, consiguiendo así que se sienta integrado en los ambientes creados por ordenador.

Las gafas más comunes empleadas para la visualización de proyectos creados en BIM son: Oculus Rift, HTC Vive, Samsung Gear VR y Cardboard. Las diferencias entre ellas dependen de aspectos como el dispositivo donde se almacenan los datos, las distintas operaciones que se puedan realizar con los archivos de visualización o la fuente de alimentación. A continuación se detallan algunas características:

- *Oculus Rift*: tienen incorporada su propia pantalla y van conectadas a un ordenador o consola, que es quien crea el entorno virtual. Disponen de un sensor LED de infrarrojos que detecta el movimiento de la cabeza, este se sitúa en una mesa frente a las gafas o en tantas localizaciones como se desee. Cuentan con un ángulo de visión de 100 grados.
- *HTC Vive*: al igual que las Oculus Rift, su soporte de entorno virtual se encuentra en un ordenador. Cuentan con una cámara frontal que permite ver el exterior con las gafas puestas y mezclar elementos de mundo real y virtual (realidad aumentada). Su ángulo de visión es de 110 grados.

La ventaja que presentan ambos dispositivos es que al sustentarse con un ordenador la calidad de los modelos BIM proyectados es mucho mayor, esto es porque el ordenador soporta una calidad de renderizado y un nivel de detalle mucho mayor que un dispositivo móvil gracias a su memoria interna, al igual que la velocidad y procesado es también mayor. Su principal desventaja es su coste, al tratarse de gafas con un diseño y características tan desarrolladas hacen que su precio sea mucho mayor a los dispositivos con base en smartphones. También es necesario que los ordenadores en los cuales se haga uso de estos dispositivos cuenten con unas características concretas de tarjeta gráfica, procesador, sistema operativo, memoria RAM, etc. para una visualización óptima, lo cual también hace limitado el uso de estas gafas.

- *Samsung Gear VR*: en este caso se conecta un dispositivo móvil a las gafas para disfrutar del entorno virtual. Este dispositivo es compatible exclusivamente con smartphones de Samsung y los modelos aceptados son Note 5, Samsung Galaxy S6 y posteriores. Estas gafas están desarrolladas por Oculus lo que garantiza una mayor calidad a la hora de visionar el modelo que se haya creado y cuentan además con un panel táctil de navegación incluido en un lateral de las gafas.
- *Google Cardboard*: estas gafas funcionan también con el acople de un smartphone en ellas, pero a diferencia de las Samsung Gear VR, cualquier dispositivo es compatible,

tanto con procesador Android como iOS. Son los dispositivos de visualización más sencillos y asequibles del mercado, pudiendo ser construidos por uno mismo, pero ello no quita que también posean funciones de calidad.

Las ventajas que presentan este tipo de gafas son su coste y su funcionalidad. Son dispositivos muy asequibles -aunque las Samsung Gear VR tengan un precio más elevado- que permite que cualquier usuario pueda disponer de ellas y así fomentar la oportunidad de que la Realidad Virtual sea explorada y explotada por cualquier persona interesada en esta tecnología. La posibilidad de que sea un smartphone el soporte para la visualización del entorno virtual también es una ventaja, ya que cede al usuario la oportunidad de acceder e introducirse en su modelo construido en cualquier momento y lugar. Pero el poder hacer uso de la Realidad Virtual en cualquier lugar tiene a su vez un inconveniente, y es que al ser el smartphone la base de almacenamiento, cuanto más detalles y calidad de resolución tengan los proyectos exportados al dispositivo, mayor será la memoria que ocupe en estos. La batería, además, limitará el tiempo de uso de la Realidad Virtual.



Figura 3. Dispositivos de Realidad Virtual con soporte en ordenador. Fuente: Google Imágenes.



Figura 4. Dispositivos de Realidad Virtual con soporte en smartphone. Fuente: Google Imágenes.

Cabe mencionar que estos no son los únicos dispositivos existentes para interactuar con la Realidad Virtual. Hay infinidad de modelos compatibles con Cardboard, o que cuentan con las mismas prestaciones de éstas, y que resultan también aptos para las aplicaciones comerciales de Realidad Virtual.

Existen diferentes maneras de experimentar la Realidad Virtual. Una de ellas es *no inmersiva*, consistente en observar directamente el proyecto en la pantalla del dispositivo electrónico, bien sea un ordenador, móvil o tablet; y otra *inmersiva*, en la cual se emplean las gafas de Realidad Virtual y otros accesorios.

Dentro de la categoría de *Realidad Virtual inmersiva* existen tres niveles diferentes que permiten experimentar una visualización más o menos cercana:

- *Fish Eye* (ojo de pez): en este nivel se interactúa exclusivamente con las gafas de Realidad Virtual. Se trabaja con imágenes panorámicas que se pueden crear directamente a la hora de renderizar el modelo BIM, a través de aplicaciones de Realidad Virtual o bien haciendo uso de softwares como 3Ds Max o Panoweaver. Este modo sólo permite obtener una vista de 360° del espacio que se haya creado, no permite al usuario desplazarse por el modelo, pero sí admite la modificación en tiempo real de características como los colores o las texturas (Rho y Kim, 2015).
- *Joystick* (mando): se hace uso conjunto de gafas de Realidad Virtual y uno o varios mandos. El poder disponer de un mando es significativo de que el espacio puede ser

recorrido o navegado bajo el control del usuario. Permite al observador aproximarse más al modelo, explorarlo más en profundidad, haciendo la experiencia mucho más interactiva. Para poder experimentar esta visualización es necesario crear aplicaciones a través de *game engines* o softwares de juegos, como pueden ser Unity Pro o Stingray o bien haciendo uso de aplicaciones de ordenador con Oculus Rift/HTC Vive. Estas visualizaciones exigen para su disfrute un nivel mayor y más difícil de desarrollo que en el caso de una vista panorámica, pero hacen posible disfrutar del entorno virtual de manera más cercana (Rho y Kim, 2015).

- *Full body* (cuerpo entero): la inmersión es total. Se dispone de gafas de Realidad Virtual y sensores de movimiento en todo el cuerpo, por lo que cada movimiento generado por el usuario se verá reflejado en el espacio virtual (Rho y Kim, 2015).

	1. Fish Eye	2. Joystick	3. Full Body
Description	<OBSERVE VR>	<NAVIGATE VR SPACE >	< EXPERIENCE VR WITH MOTION SENSOR>
Pictures			
Immersion	Immersion VR	Immersion VR	Total Immersion
DEVICE	VR GLASSES	VR GLASSES + Flying Mouse	VR GLASSES + MOTION SENSOR
VR GLASSES	Gear VR, Oculus Rift, Cardboard	Gear VR, Oculus Rift	Oculus with motion sensor
Media	JPEG	Game Engine	
Software	3ds MAX Panoweaver	Unity Pro Stingray	

Figura 5. Application Stage of VR Glasses (Niveles de aplicación de gafas de Realidad Virtual) Fuente: Autodesk University, 2015.

2. Virtualización de una infraestructura

2.1. Aplicaciones comerciales para la virtualización

Actualmente, para el desarrollo de presentaciones de Realidad Virtual con modelos BIM existe una amplia oferta de programas que brindan al cliente distintas opciones de visualización. A continuación serán mencionados algunos de los más recurridos para presentaciones del sector AEC/O:

- *Enscape*TM: se trata de un plugin para Revit de Realidad Virtual y renderizado en tiempo real. Con un solo click de ratón se activa este complemento obteniendo en cuestión de segundos el proyecto diseñado ya renderizado y con posibilidad de ser recorrido o modificado al gusto del cliente. Todos los cambios que se hagan en Revit son inmediatamente visibles en el visor de Enscape.

Al igual que muchos otros plugin, Enscape oferta crear tanto vistas panorámicas como recorridos virtuales en tiempo real, pero presenta algunas restricciones: la función de Realidad Virtual solo es compatible con dispositivos Oculus Rift o HTC Vive, por lo que dispositivos de bajo coste quedan totalmente excluidos para la visualización tanto de recorridos virtuales como vistas panorámicas. Mencionar también que el plugin es solo válido para Revit y SketchUp, por lo que si el modelo es construido en un programa distinto ha de ser importado a uno de estos. (Enscape, 2017)

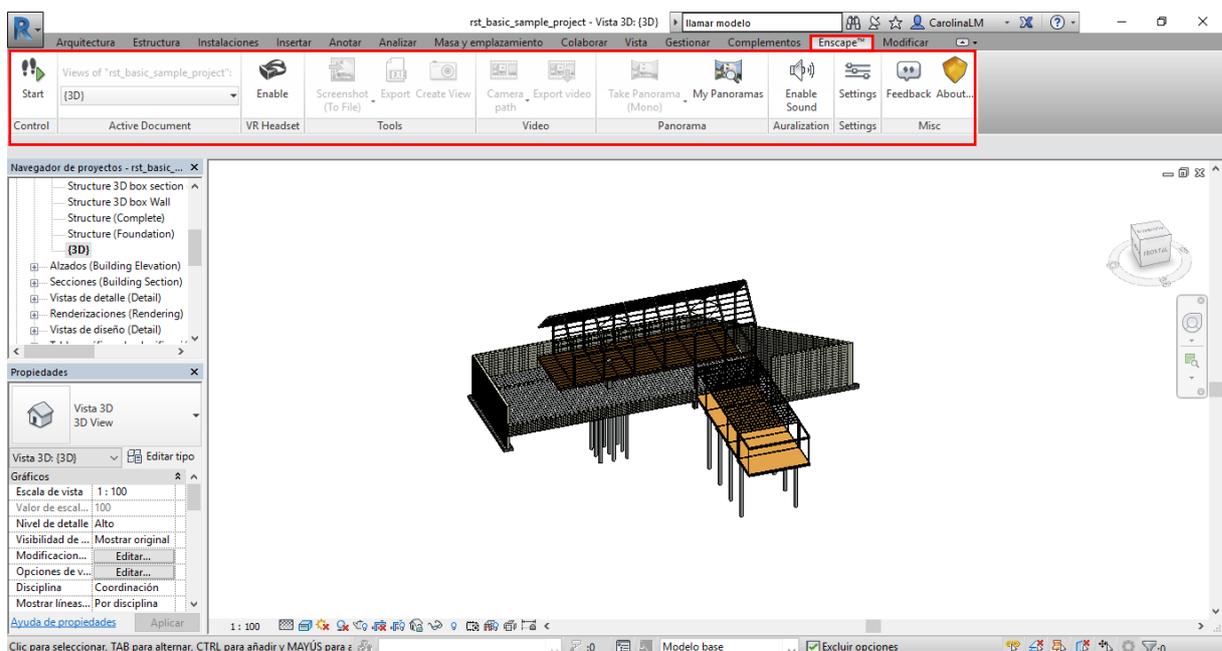


Figura 6. Interfaz de Enscape en Revit. Fuente: Elaboración propia.

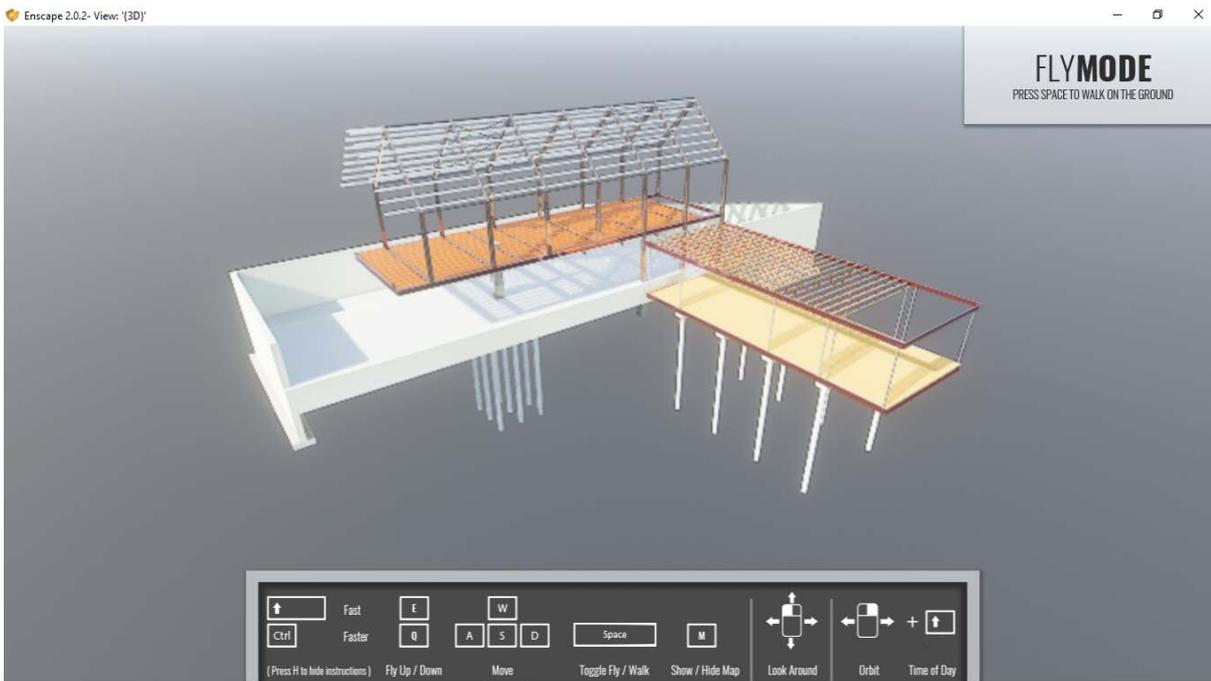


Figura 7. Captura de pantalla de la escena de Enscape. Fuente: Elaboración propia.

Al no disponer de un equipo de visualización compatible con esta aplicación, se adjunta un enlace donde pueden visualizarse distintos tutoriales para su uso: <https://enscape3d.com/videotutorials/>

- *InsiteVR*: es una aplicación para ordenador y móvil diseñada con el fin de crear presentaciones de Realidad Virtual que puedan ser visualizadas por varios usuarios a la vez. La aplicación admite dos modalidades de proyectos: un modelo 3D y una vista panorámica. Acepta modelos creados en Revit, SketchUp, 3D Studio Max, Navisworks (en fase de desarrollo) y Maya, aunque también admite archivos en formato .FBX y .OBJ. Las imágenes panorámicas pueden ser creadas con softwares de renderizado como son V-Ray, Octane Render o la *nube* de Autodesk A360.

Con los modelos 3D se pueden crear recorridos virtuales tanto en ordenador como en móvil, con la limitación de que en este último caso sólo se puede desarrollar si se usan las gafas Samsung Gear VR. Las vistas panorámicas, en cambio, en el móvil pueden ser visualizadas con gafas Samsung, Google Cardboard o similar, con la restricción de que no se permite el desplazamiento por el modelo.

La ventaja más destacable de esta aplicación es contar con la opción de crear presentaciones para un grupo de usuarios. Así, en reuniones de equipo o en propuestas de ideas de diseño para un grupo de clientes, todos podrán visualizar a la vez lo mismo. Durante la presentación también será posible crear anotaciones y fijarlas en el elemento

observado, así se tiene constancia de la opinión de los clientes o diseñadores para posteriormente realizar las modificaciones. (InsiteVR, 2016)

- *IrisVR*: cuenta con dos modalidades de software, *Prospect* y *Scope*. *Prospect* es una aplicación para ordenador y *Scope* para móvil. Al igual que las demás aplicaciones de ordenador, permite al usuario adentrarse en el proyecto y recorrerlo con total libertad, también si se realizara alguna modificación en el diseño, este se vería inmediatamente reflejado en el espacio virtual. *Prospect* es compatible con HTC Vive y Oculus Rift. En el caso de *Scope*, es una aplicación móvil mediante la cual se acceden a las vistas panorámicas estereoscópicas creadas con el render del programa BIM utilizado. Como sucede con otras aplicaciones, la aplicación móvil solo permite al usuario obtener una vista de 360° del modelo, sin poder navegar a través de él, pero percibiendo la profundidad del espacio. *Scope* es compatible tanto con gafas Samsung Gear VR como Google Cardboard o similar.

Estas aplicaciones aceptan proyectos creados con Revit, Rhino, SketchUp y archivos OBJ. (IrisVR, Inc, 2016)

- *Kubity*: es un software que permite exportar los modelos 3D construidos en Revit o SketchUp para ser visualizados en un smartphone (Google Cardboard) u ordenador (HTC Vive/Oculus Rift). Una complicación que presenta esta aplicación es que no permite importar modelos de Revit en su formato original, es decir, tiene que instalarse un plugin dentro de Revit que cambie el formato de este a SketchUp para poder ser visualizado con *Kubity*. (Kubity, 2017)

	<i>Enscape</i>	<i>InsiteVR</i>	<i>IrisVR</i>	<i>Kubity</i>
Versión de prueba	14 días	10 días	45 días	10 días
Licencia	45\$/mes 449\$/año (1 soporte) 679\$/año (varios soportes)	99\$/mes	<u>Prospect</u> : 200\$/mes <u>Scope</u> : 40\$/mes	20\$/mes 199\$/año
Software BIM compatible	Revit	Revit Navisworks Archivos FBX	Revit	Revit

Recorrido Virtual en ordenador	HTC Vive Oculus Rift	HTC Vive Oculus Rift	<u>Prospect:</u> HTC Vive Oculus Rift	HTC Vive Oculus Rift
Aplicación para móvil	No	Sí Gear VR Cardboard	<u>Scope:</u> Gear VR Cardboard	Sí Cardboard
Recorrido virtual en móvil		Gear VR	No	No

Tabla 1. Comparación de aplicaciones para Realidad Virtual. Fuente: Elaboración propia.

Estos son solo algunas de las aplicaciones que disponen los profesionales del sector AEC/O para el desarrollo de sus proyectos en Realidad Virtual. Para realizar una elección entre los muchos programas existentes se deben tener claros algunos aspectos:

- Qué tipo de experiencia de Realidad Virtual se quiere crear, es decir, si se desea realizar recorridos virtuales o es suficiente con distintas vistas panorámicas.
- Qué se quiere comunicar. Si se busca debatir detalles del proyecto o vender su imagen.
- Qué nivel de detalle mostrar en el espacio virtual, o si se desea hacer modificaciones en tiempo real.
- Qué prioriza, si el tiempo o el presupuesto para el desarrollo de la Realidad Virtual.

2.1.1. Virtualización de infraestructuras

- *InsiteVR*: Para visualizar el modelo tanto en el ordenador como en el móvil primero es necesario incluirlo en la página web de InsiteVR accediendo con un usuario y contraseña.

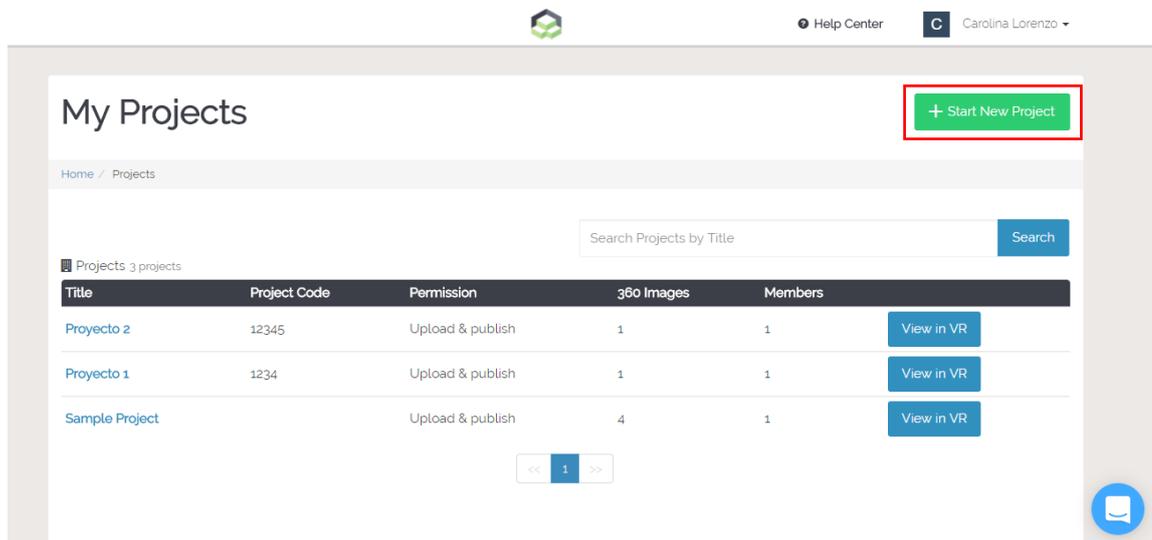


Figura 8. Página de InsiteVR para cargar el proyecto que se desea visualizar. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó en la definición de la aplicación, se puede trabajar con dos tipos de proyectos: un modelo 3D o una vista panorámica. Al ser la aplicación compatible con archivos FBX, se ha exportado una sección de un modelo de Infracore para su visualización interactiva.

Una vez se ha subido el archivo en la página web, podemos acceder a él tanto en el ordenador como en el móvil. Si se tuviesen gafas Oculus Rift o HTC Vive se podría desarrollar un recorrido virtual en el ordenador, pero en este caso se usará la aplicación de Windows para crear un comentario en el modelo y visualizarlo posteriormente en otro dispositivo.



Figura 9. Proyecto cargado en aplicación de Windows y con un comentario añadido. Fuente: Elaboración propia.

En la aplicación móvil aparecen también los proyectos que se hayan cargado en la página web. En el caso de que sean vistas panorámicas se ofrece la posibilidad de visualizarlas con Gear VR o Google Cardboard, sin embargo, los modelos 3D sólo pueden ser visualizados con las gafas Samsung Gear VR, que serán las usadas en este caso. Gracias al control que tienen las gafas Samsung incluido en un lateral, se puede recorrer el modelo en tantas direcciones se desee.

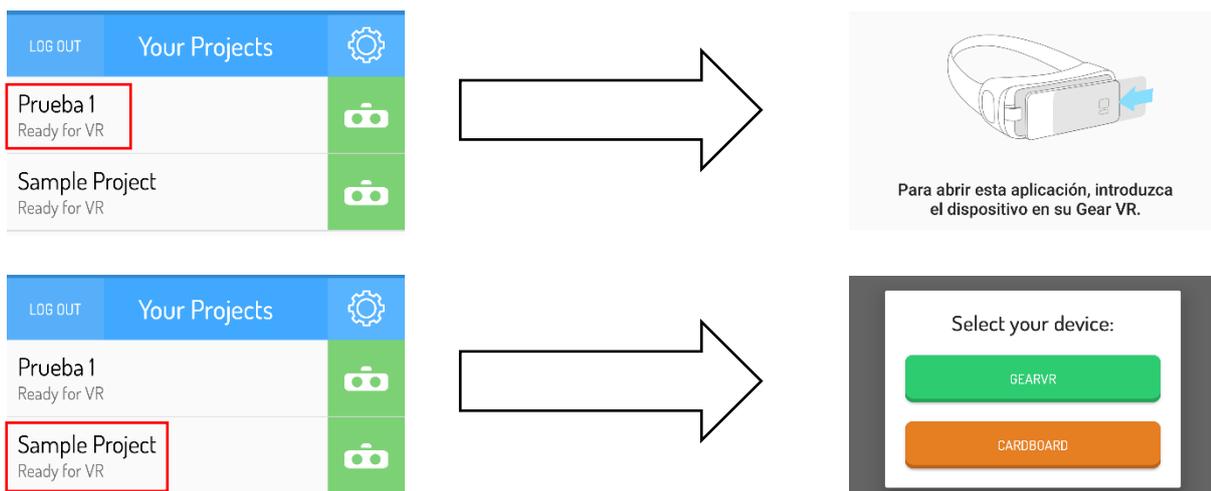


Figura 10. Relación proyecto-dispositivo de visualización. *Prueba 1* es el modelo 3D creado en Infracworks; *Sample Project* es un ejemplo de proyecto con únicamente vistas panorámicas.

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente enlace se puede observar el recorrido realizado con la aplicación en un dispositivo móvil: https://youtu.be/BQav_7G23sA

- Kubity: para esta aplicación se ha usado un modelo de SketchUp descargado de la biblioteca *3D Warehouse*. Existe un soporte tanto para ordenador como para móvil, pero en primer lugar se debe importar el modelo en la aplicación de Windows para posteriormente visualizarlo en el móvil.

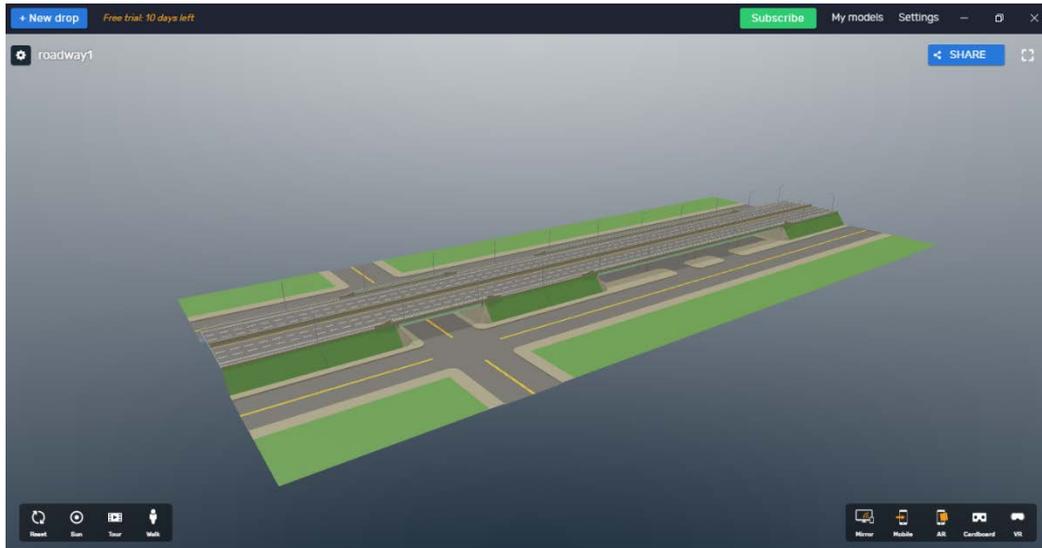


Figura 11. Vista de la aplicación Kubity en el ordenador. Fuente: Elaboración propia.

Para visualizar el modelo en el móvil, Kubity genera un código QR que se lee con la aplicación del móvil y a partir de ahí ya se puede interactuar con el proyecto.



Figura 12. Código QR para la aplicación del móvil. Fuente: Elaboración propia.

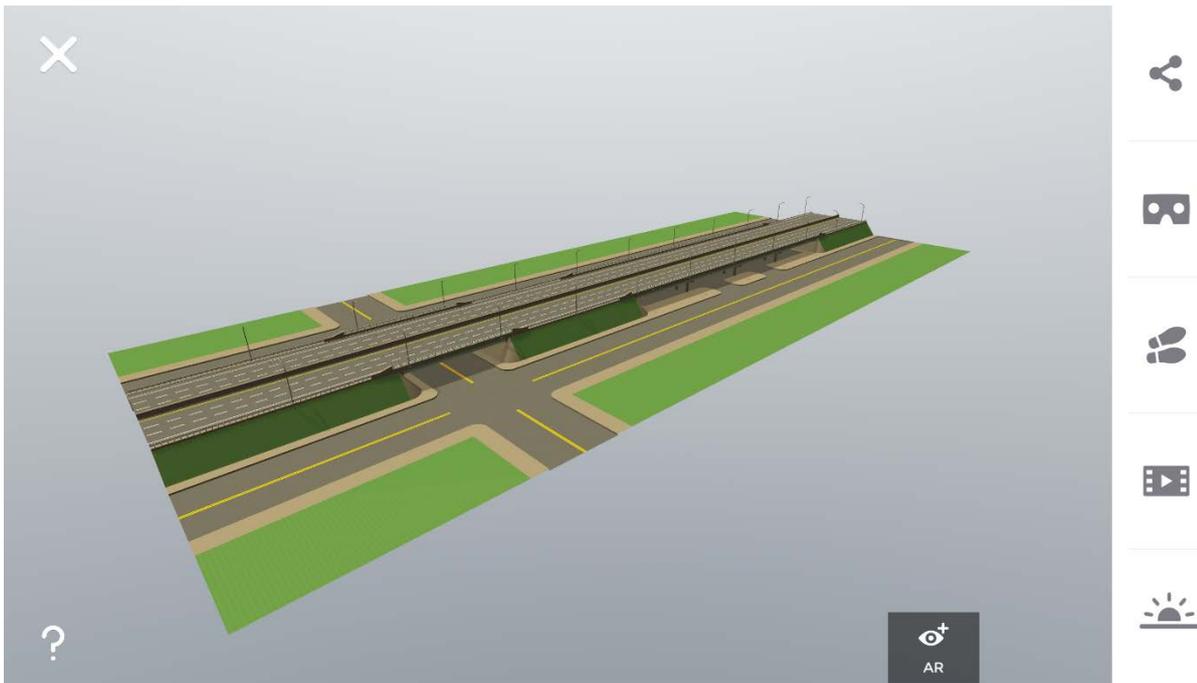


Figura 13. Vista del modelo en la aplicación del móvil. Fuente: Elaboración propia.

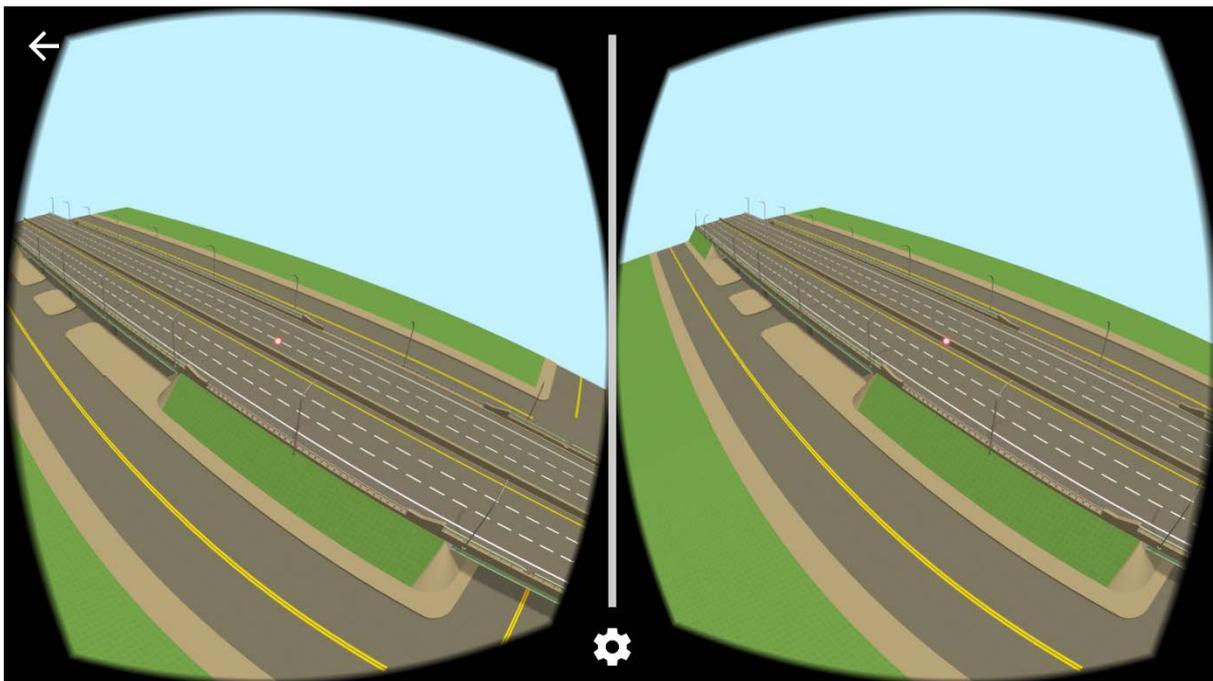


Figura 14. Vista estereoscópica panorámica para gafas Google Cardboard. Fuente: Elaboración propia.

Cuando se están usando las gafas de Realidad Virtual con la aplicación del móvil no es posible hacer recorridos virtuales, pero sí es posible cambiar la posición desde la que se observa si se mantiene la visión fijada en el punto hasta el que se quiere ir.

En el siguiente enlace se muestra el uso de la aplicación de Kubity en el móvil:

<https://youtu.be/36RrKBohFk8>

2.2. Aplicaciones de Videojuegos aplicadas a la Ingeniería

Aunque son múltiples las aplicaciones de Realidad Virtual que ofrecen al usuario poder desplazarse por su modelo BIM, estas sólo permiten realizar un recorrido virtual si este se desarrolla en una aplicación de ordenador y haciendo uso de los dispositivos Oculus Rift o HTC Vive.

El uso de este tipo de gafas obliga al usuario a disponer de un ordenador con un hardware de características específicas y siendo lo suficientemente potente para crear una presentación con una calidad acorde a las características de las gafas, además de tener que invertir una cantidad mucho mayor de dinero en el dispositivo de visualización que de hacerse con unas gafas Google Cardboard o similar.

Como se busca aportar una solución asequible y que permita al ingeniero acceder a la Realidad Virtual allá donde se encuentre, se ha optado por crear una aplicación móvil, siendo esta la alternativa económica al alcance de cualquier profesional del sector AEC/O. Para el desarrollo de esta aplicación se ha usado el software Unity, que aunque se trate de un *game engine* o desarrollador de videojuegos, permite importar modelos BIM o proyectos de SketchUp y a partir de ellos elaborar una virtualización de la infraestructura, con la que poder interactuar con las gafas de Realidad Virtual y un mando/joystick.

2.2.1. Unity Engine

Como se ha mencionado anteriormente, el software que se ha usado para la creación de la aplicación móvil es Unity. En su página web (2017) este se define como *“el motor de juegos y VR/AR líder en el mundo”* añadiendo además *“[...] Eso, sumado a las capacidades de iteración rápida del editor de Unity, ya ha ayudado a hacer que Unity sea de lejos la plataforma de desarrollo de VR más utilizada”*, aparte, este año SuperData Research and Unity Technologies exponen en un informe que este software *“potencia la plataforma creativa del mundo, proporcionando herramientas para crear juegos y experiencias en 2D, 3D, VR, y AR a través de más de 25 plataformas diferentes incluyendo: iOS, Android, Google Daydream y Oculus Rift.”*

Existen diferentes licencias: Unity Personal, Plus, Pro y Unity for Enterprise. La única que no es de pago es Unity Personal y es la que se ha empleado para este caso práctico, ya que ofrece

las prestaciones básicas del programa a cualquier usuario sin coste alguno y siendo además compatible con todas las plataformas que soporta el software y mencionadas anteriormente: Android, iOS, Windows, Mac, Oculus Rift, Google Cardboard, etc.

3. Virtualización de una infraestructura. Caso práctico de un modelo BIM de Infracworks

3.1. Desarrollo de la aplicación en Unity Engine

Para este caso práctico se ha tomado un modelo BIM desarrollado en Infracworks. Es necesario exportar a “.FBX” para poder trabajar con él en Unity, ya que este es el único formato que Unity admite a la hora de importar proyectos.

Como se desea crear una aplicación de Realidad Virtual para móvil, lo primero que se ha de hacer es descargar los SDK (*Software Development Kit* o *Kit de desarrollo de software*) correspondientes, los cuales le facilitan al usuario la tarea de crear una aplicación para un soporte en concreto. En este caso práctico, se hará uso de gafas Google Cardboard para el sistema Android, por tanto, los SDK descargables han de ser: *SDK Android* y *Google VR SDK*.

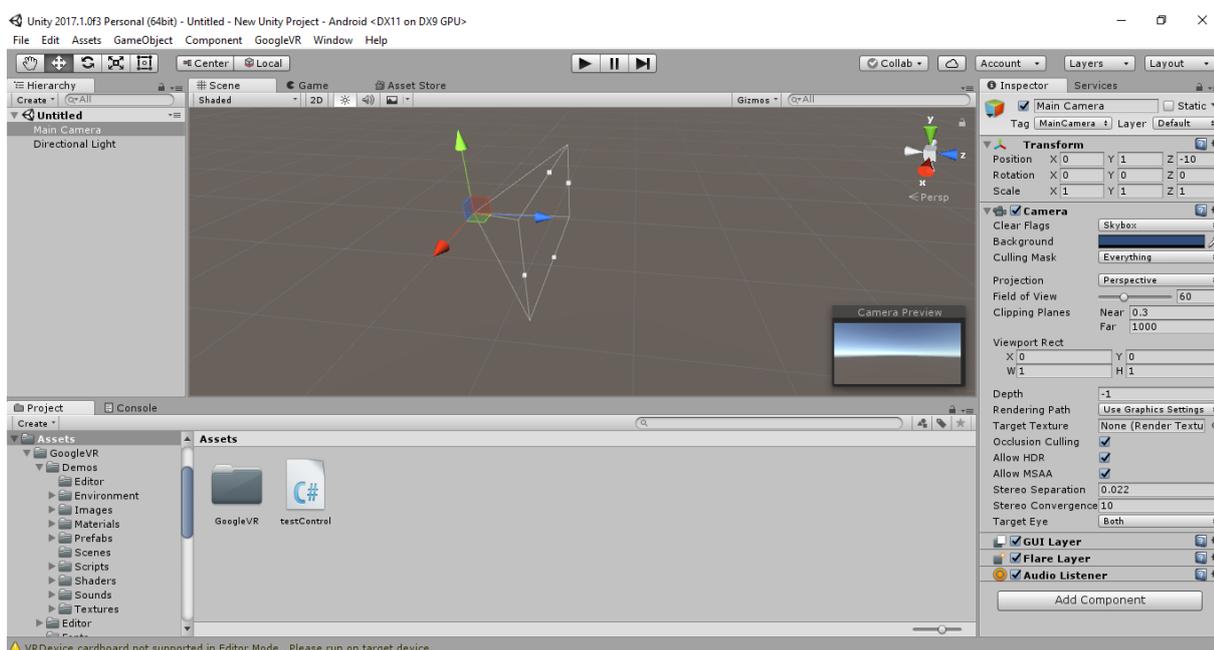


Figura 15. Interfaz Unity Personal. Fuente: Elaboración propia.

Para poder trabajar con el proyecto construido en BIM, primero se ha de copiar el modelo en formato .FBX dentro de una carpeta, por ejemplo, *Models* de GoogleVR. Para ello, se accede a la carpeta que se crea automáticamente al iniciar un nuevo proyecto. *New Unity Project > Assets > GoogleVR > Models*.

Para poder aprovechar ciertas funcionalidades de las librerías de GoogleVR, como la detección de los giros de la cabeza y la generación de las imágenes estéreo, se parte de una de las escenas de demostración contenidas en el paquete GoogleVR. En concreto, en este caso se usó la escena “GVRDemo” y se ocultaron todos los elementos del escenario que contenía esta escena para, posteriormente, importar el modelo 3D del terreno de la aplicación que se quiere desarrollar.

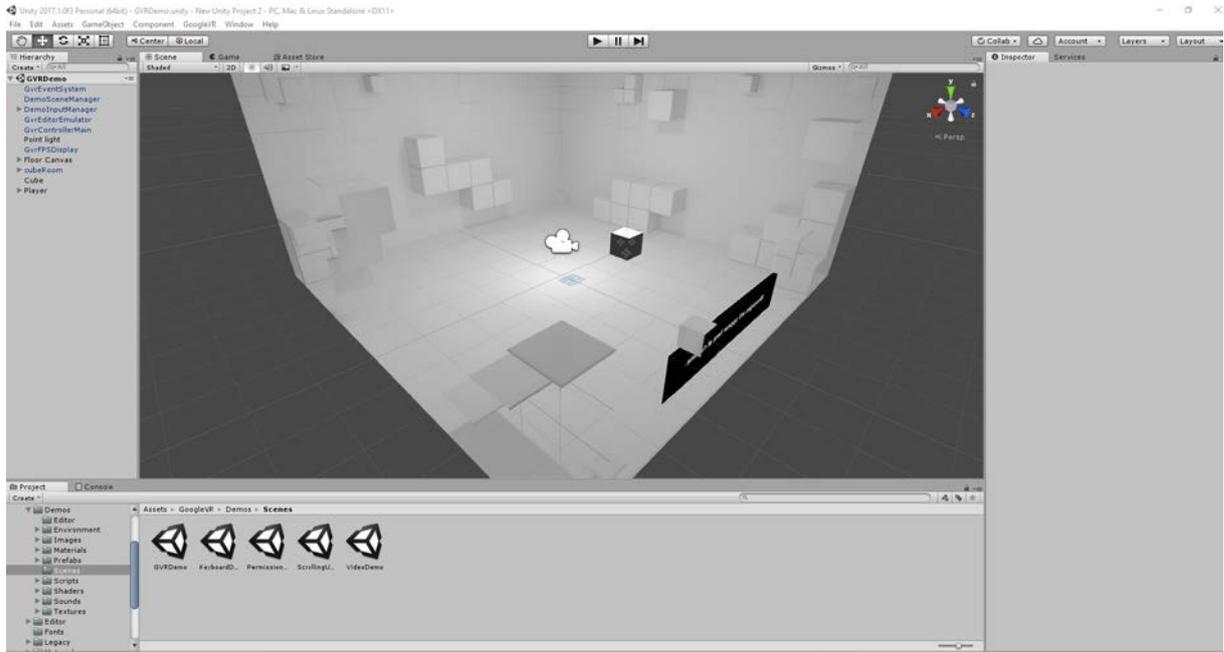


Figura 16. Escena de GoogleVR: GVRDemo. Fuente: Elaboración propia.

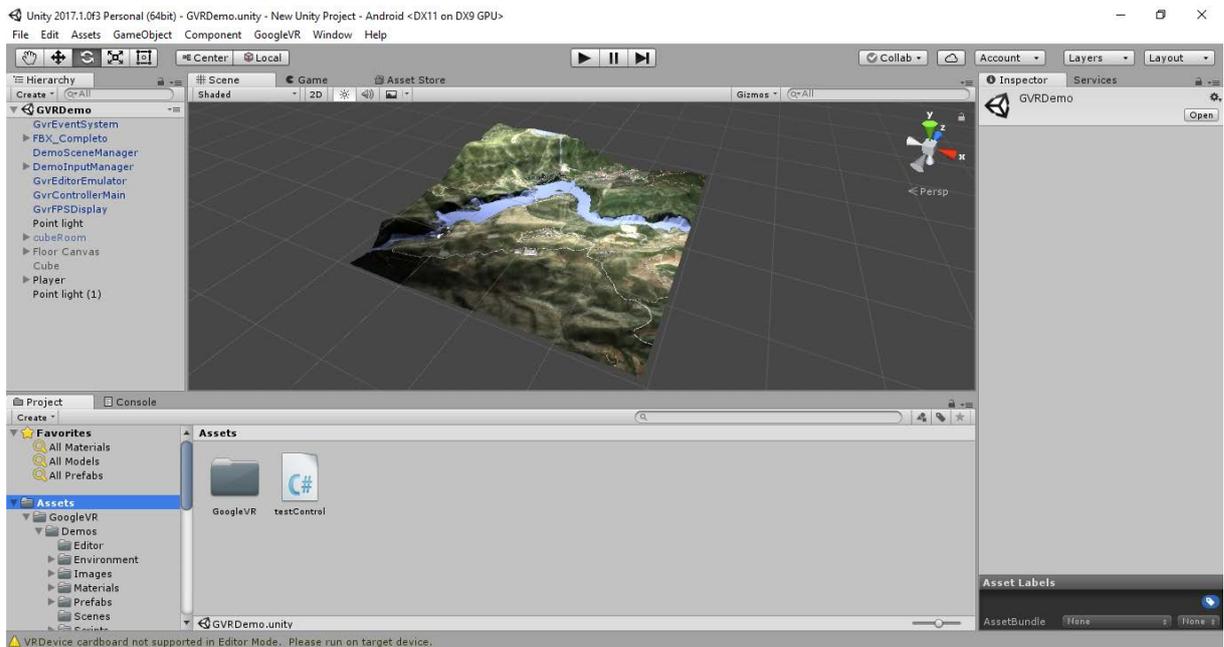


Figura 17. Interfaz con el modelo BIM importado. Fuente: Elaboración propia.

Para diseñar una aplicación que permita recorrer el modelo con las gafas de Realidad Virtual y un mando, Unity cuenta con un editor de código en el que se desarrolla el script que configura el modelo para que responda ante los comandos generados por el mando.

El editor de código por defecto es el *Visual Studio de Microsoft*, el cual viene incluido en la instalación de Unity. Si se cuenta con otro editor ya instalado en el ordenador se puede hacer uso de él. Se debe tener en cuenta el lenguaje de programación en el que se basa Unity, en este caso es C#, debido a que es importante obedecer a la sintaxis de cada programador para no provocar errores en el script y que este luego pueda funcionar correctamente.

Para modificar el script del modelo con el que se está trabajando, se selecciona la función *Player* y en la pestaña de *Inspector*, en la barra lateral de la escena, se puede observar la opción: *Test Control (Script)*. Haciendo doble click de ratón sobre él se abre el editor de códigos.

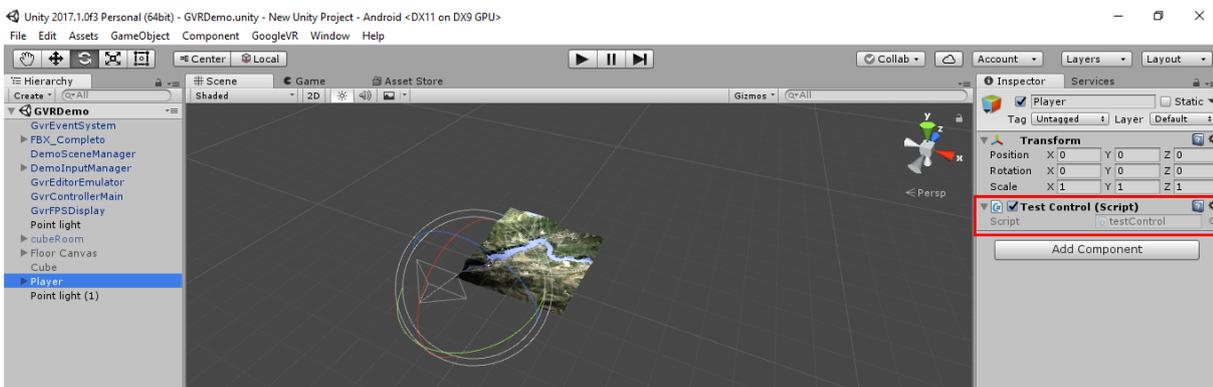


Figura 18. Pestaña *Inspector*. Fuente: Elaboración propia.

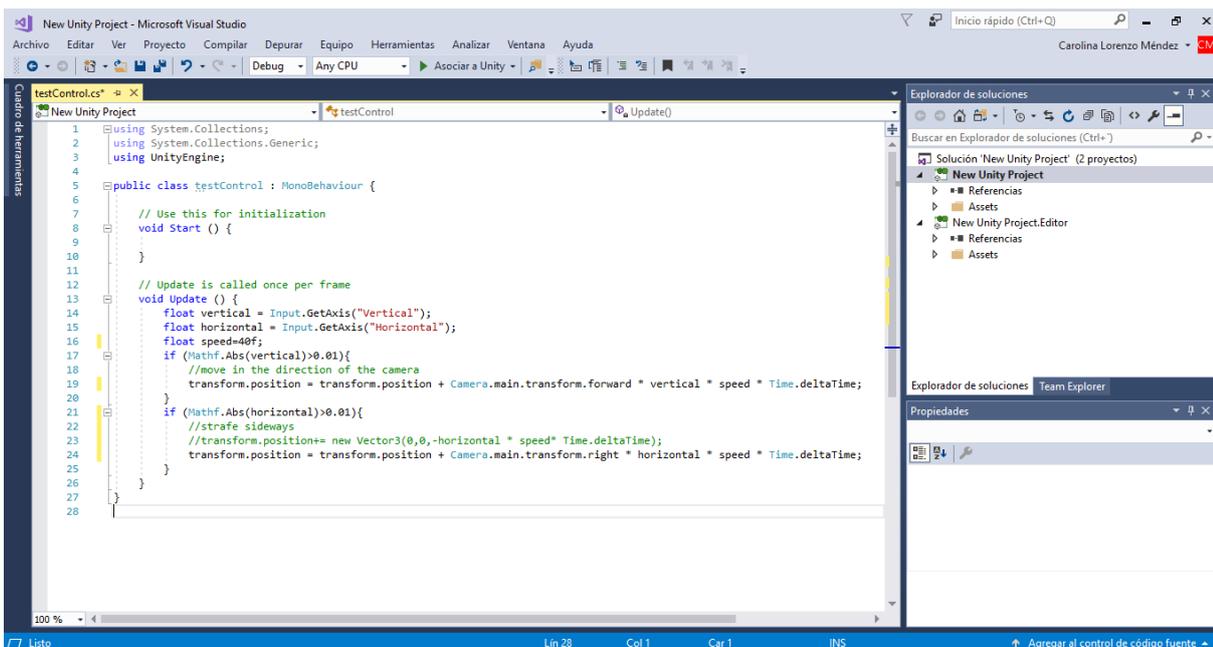


Figura 19. Ventana de Visual Studio con script desarrollado para el control del mando.

Fuente: Elaboración propia.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class testControl : MonoBehaviour {
    // Use this for initialization
    void Start () {
    }
    // Update is called once per frame
    void Update () {
        float vertical = Input.GetAxis("Vertical");
        float horizontal = Input.GetAxis("Horizontal");
        float speed=40f;
        if (Mathf.Abs(vertical)>0.01){
            //move in the direction of the camera
            transform.position = transform.position +
Camera.main.transform.forward * vertical * speed * Time.deltaTime;
        }
        if (Mathf.Abs(horizontal)>0.01){
            //strafe sideways
            //transform.position+= new Vector3(0,0,-horizontal * speed*
Time.deltaTime);
            transform.position = transform.position +
Camera.main.transform.right * horizontal * speed * Time.deltaTime;
        }
    }
}

```

Figura 20. Script para configurar una respuesta ante los comandos del mando. Fuente:
Elaboración propia.

```

float vertical = Input.GetAxis ("Vertical");
float horizontal = Input.GetAxis ("Horizontal");
float speed=40f;

```

La variable “vertical” almacena el valor que se lee de desplazamiento vertical en el stick del mando. La variable “horizontal” hace lo mismo con el desplazamiento horizontal. La variable “speed” determina la velocidad a la que se moverá la cámara.

```

if (Mathf.Abs(vertical)>0.01){
    //move in the direction of the camera
    transform.position = transform.position + Camera.main.transform.forward *
    vertical * speed * Time.deltaTime;
}
if (Mathf.Abs(horizontal)>0.01){
    //strafe sideways
    //transform.position+= new Vector3(0,0,-horizontal * speed* Time.deltaTime);
    transform.position = transform.position + Camera.main.transform.right *
    horizontal * speed * Time.deltaTime;
}
    
```

“Transform.position” determina la posición del objeto que esté asociado con el script (en este caso el objeto *Player* que, a su vez, tiene asociada la cámara). Cuando la variable vertical ha leído un desplazamiento significativo, modificamos la posición de la cámara en la dirección en la que está mirando la misma (*Camera.main.transform.forward*), una determinada cantidad dependiente de la variable “speed” y de un incremento de tiempo. El desplazamiento horizontal se genera de la misma forma, pero usando una dirección perpendicular (*Camera.main.transform.right*) a la que está mirando la cámara.

Una vez configurado el script, es importante añadir un punto de luz al proyecto para que en el momento en el que se exporte al móvil como aplicación, este se pueda ver con claridad. Para ello, con el objeto *Player* seleccionado y pulsando el botón derecho del ratón, se selecciona *Light* y el tipo de iluminación que se desea añadir.

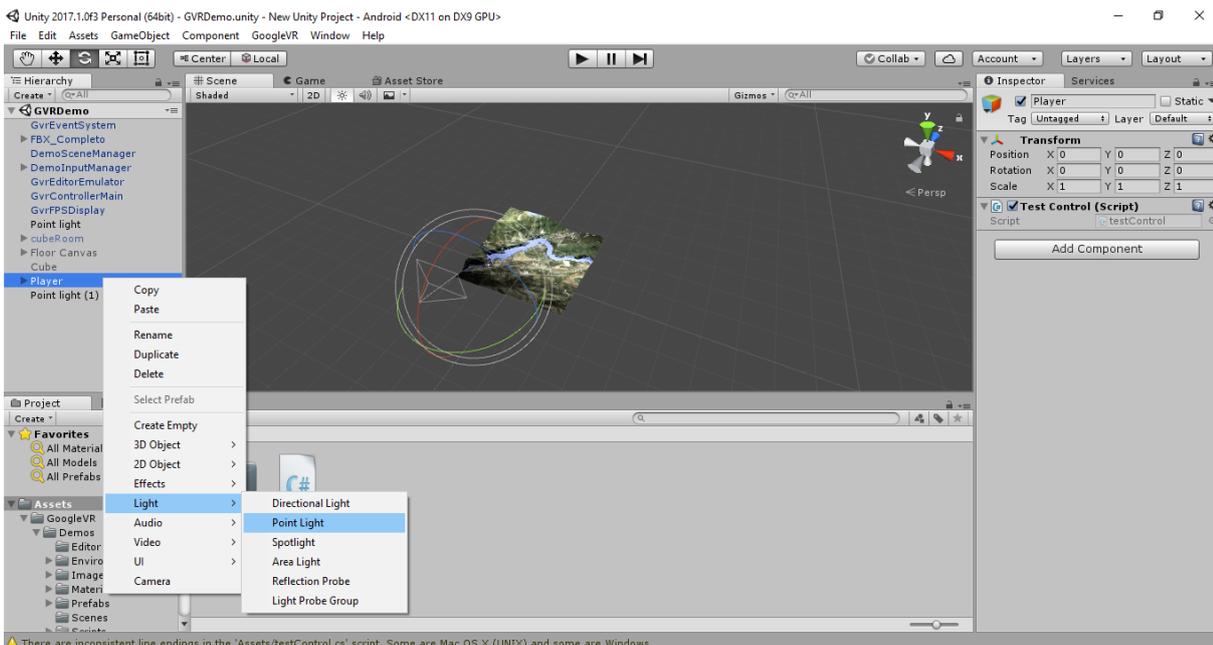


Figura 21. Iluminación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Cuando ya se tiene el modelo completamente configurado al gusto, se pone a prueba activando el icono de *Play* que se encuentra ubicado en la parte superior de la ventana *Scene*. Automáticamente esta ventana cambia, y pasa al modo *Game*, donde se comprueba si el script está bien configurado, la apariencia del modelo, la velocidad de los movimientos que se realizan, etc. En caso de que no se esté conforme con el resultado final siempre se puede volver al modo *Scene* y seguir editando.



Figura 22. Ventana *Game*. Proyecto en prueba. Fuente: Elaboración propia.

Una vez alcanzado el resultado óptimo y definitivo, se crea la aplicación. Para ello, hay que construir la aplicación en el menú *File > Build Settings*. En la plataforma se selecciona “Android” y, dentro de “Player Settings”, se selecciona que es una aplicación de GoogleVR. Una vez hecha esta configuración, se construye el proyecto haciendo click en el botón “Build”. Esto genera un archivo .apk que puede instalarse en el móvil.

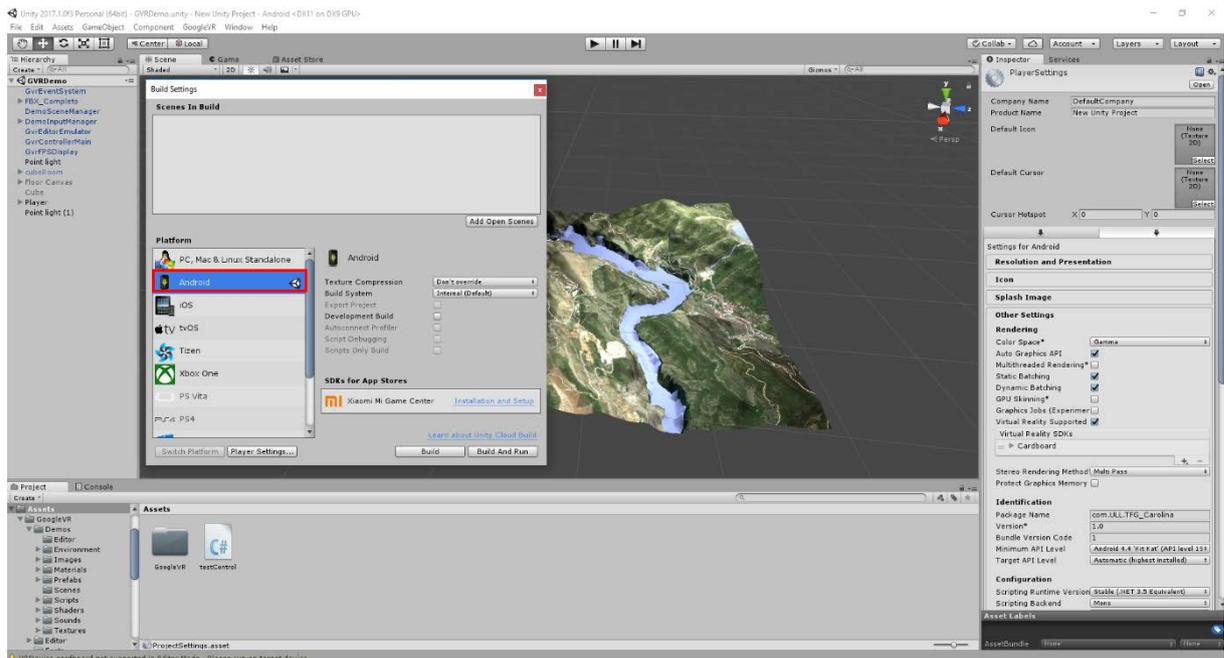


Figura 23. Menú de selección del tipo de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación ya instalada en el móvil, el aspecto del modelo sería el observado en la siguiente figura. Cabe mencionar que se trata de una aplicación que se ha creado únicamente con el modelo BIM importado y añadiendo puntos de luz para una visualización más clara, pero, en realidad, también se podrían añadir más efectos y elementos a la escena, como movimientos del agua, un cielo más o menos nuboso, vegetación, elementos interactivos, etc.

Existen softwares de renderizado como *Lumion* que pueden mejorar considerablemente el aspecto del modelo gracias a su gran calidad y potencia a la hora de renderizar modelos 3D. Se podría trabajar primero el aspecto del proyecto y luego exportarlo a Unity o bien trabajar los elementos de la escena ya dentro de este último.

En este caso no se ha desarrollado tanto el aspecto de la escena ya que lo realmente importante es ofrecer una herramienta para dispositivos móviles con la que el usuario pueda recorrer el proyecto a través de gafas de Realidad Virtual de bajo coste y con un mando/joystick.

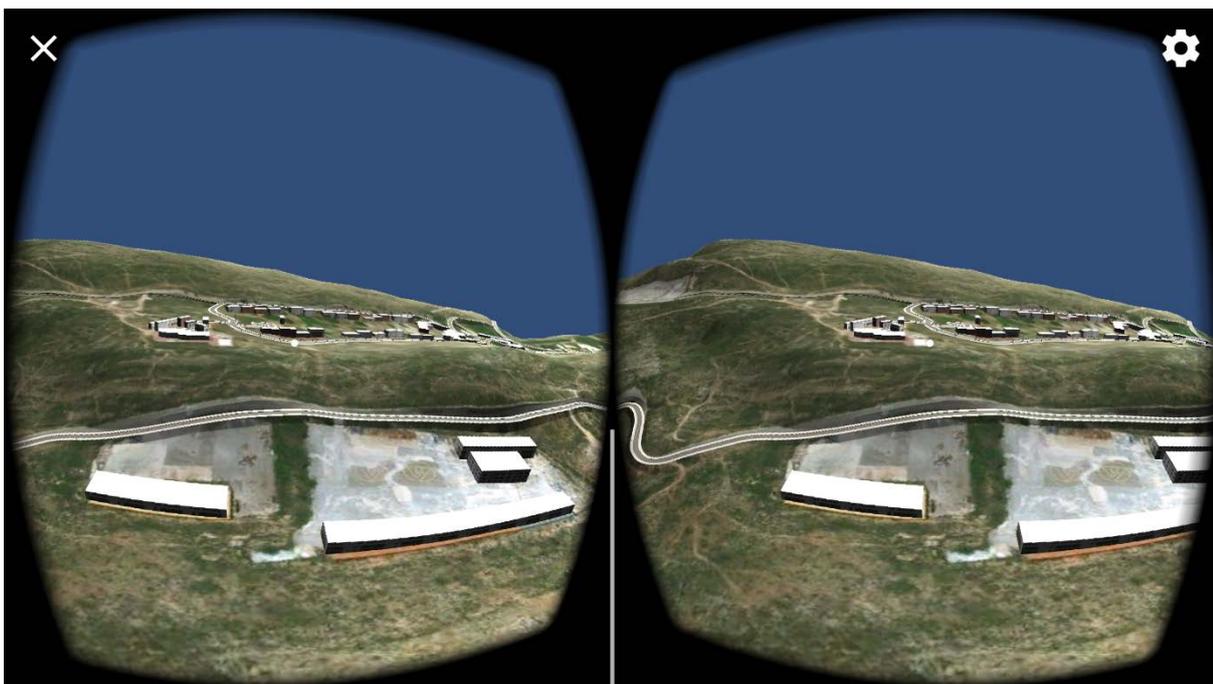


Figura 24. Vista estereoscópica del modelo en la aplicación para móvil. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente enlace se puede observar un recorrido virtual realizado en la aplicación móvil que se ha creado: <https://youtu.be/ho9e6yO5gm4>

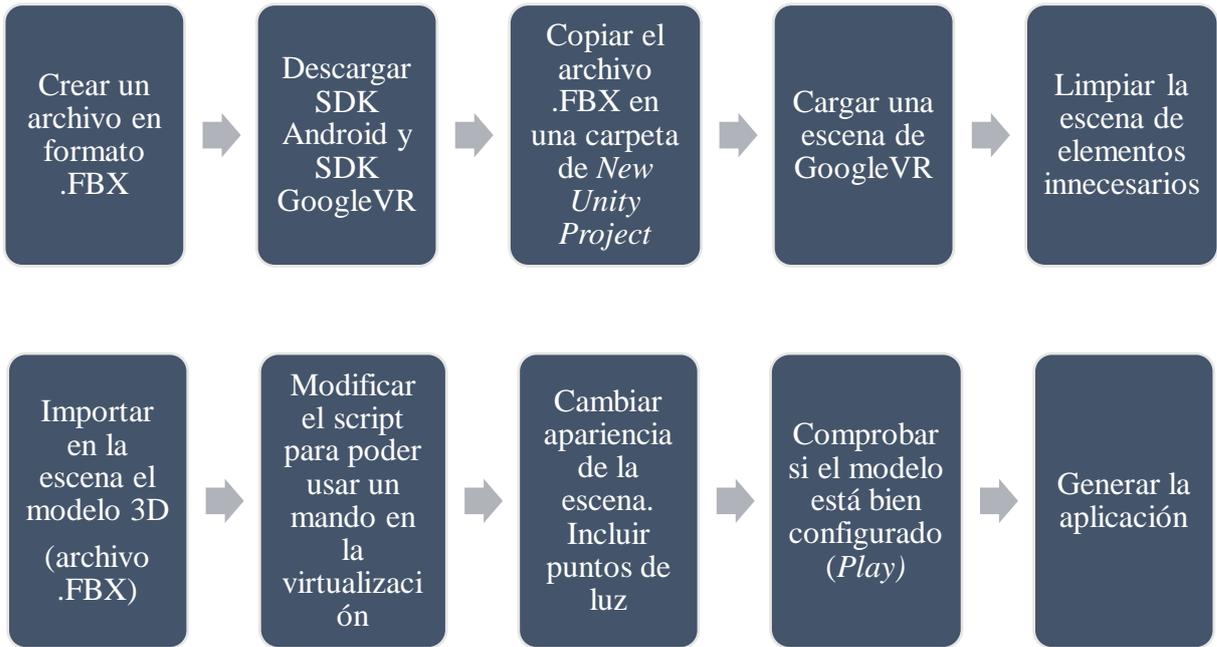


Figura 25. Flujo de pasos para crear una aplicación móvil en Unity. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Aunque en la actualidad la Realidad Virtual vea su mayor explotación en el mundo del videojuego, también cuenta con un gran potencial para el desarrollo y la visualización de proyectos del sector AEC/O gracias a su capacidad inmersiva.

Cada día se recurre más al diseño en tres dimensiones facilitando así la construcción y comprensión de los proyectos. Con la Realidad Virtual se consigue explotar al máximo esa visión 3D ya que aproxima aún más el modelo al usuario, pudiendo este observar de forma más cercana detalles y elementos constructivos que podrán ser modificados al gusto en tiempo real.

El uso de la Realidad Virtual en la ingeniería aporta diferentes ventajas a tener en cuenta como:

- Visualización interactiva con el modelo. A medida que se construye y antes de la fase de ejecución del proyecto, se puede observar cada parte del modelo, recorrerlo, modificarlo, analizando si se está conforme o no con su diseño.
Esto también supone un abaratamiento en costes porque los cambios se realizan antes y no durante la construcción del proyecto.
- Comprensión del proyecto. Es más fácil interpretar una vista si está en tres dimensiones que en el plano 2D, pero aún más si se puede estar dentro de él o verlo en primera persona de forma virtual como ofrece la Realidad Virtual a través de sus gafas.
- Presentación singular. Es una herramienta distintiva y genera un impacto visual muy positivo frente a exposiciones planas y clásicas, por lo que podría convertir un proyecto común en uno más destacable.

En relación a las aplicaciones de Realidad Virtual existen infinidad de variedades que ofrecen multitud de opciones de visualización, únicamente hay que tener claro cuál es la finalidad de su uso: presentaciones, análisis de detalles, explicación de estructuras complejas, etc.

- Existen gafas al alcance de todo el mundo como son las Google Cardboard o similar y son muchas las aplicaciones que desarrollan vistas estereoscópicas panorámicas, que es el nivel más básico y accesible de visualización de la Realidad Virtual. Esto significa que cualquier persona puede hacer uso de ella y aproximar sus proyectos al cliente de una manera diferente.
- Los recorridos virtuales ofrecen una experiencia mucho más inmersiva e impresionista, lo que los convierte en la opción más buscada. El poder desplazarse dentro de lo que se ha construido virtualmente va más allá de simplemente observar el modelo 3D en una

pantalla. Permite además experimentar más profundamente si se está conforme o no con lo que se ha creado y hacer los cambios pertinentes.

El mayor inconveniente que presenta esta experiencia virtual es que la gran mayoría de aplicaciones solo la ofertan para las gafas de Realidad Virtual más caras del mercado, pero si se investiga y con un equipo informático de ayuda, se puede conseguir también para gafas de bajo coste, como en el caso práctico de este trabajo que se ha desarrollado una aplicación con Unity.

La Realidad Virtual es una herramienta de gran utilidad en la Ingeniería Civil, no solo ofrece presentaciones poco comunes de proyectos -lo cual también es importante a la hora de venderlos para así destacar frente a otros- sino que facilita el diseño de infraestructuras y su comprensión. Por ejemplo, la Realidad Virtual se podría usar para estudiar el trazado de una carretera mientras se camina virtualmente por ella, y su velocidad máxima, fijando un valor predeterminado con el que avanzar por la escena.

No se tiene conciencia aún de la utilidad de la Realidad Virtual, se sigue viendo como algo complejo y poco accesible, pero a medida que se creen más aplicaciones para una mayor variedad de softwares BIM y los ingenieros se animen a su uso, pasará a convertirse en una herramienta más en la construcción de un proyecto.

5. Agradecimientos

Han sido más años de los esperados los que se ha alargado esta carrera. Pero hoy llega a su fin y ha sido gracias al apoyo de mucha gente. Mi gente.

Agradezco en primer lugar a mi familia. Son ellos los que han estado apoyándome cada día desde septiembre de 2010 hasta este septiembre para no rendirme. Son ellos los que no se han rendido conmigo cuando yo sí lo hacía y es por ellos por los que hoy entrego al fin mi Trabajo Fin de Grado. Gracias por aguantar el desánimo, el abandono, la frustración y, sobre todo, por insistirme a creer en mí, a tener determinación y terminar lo que había empezado. Mil gracias a mis padres y a Cris. También a Ella.

Gracias a mi tío Alexis, porque fue por él por quien empecé esta carrera y gracias a sus ánimos (“hay que trabajar”) hoy le pongo punto y final.

Gracias a Rafa. Cualquier agradecimiento que le haga nunca será suficiente por la inmensa ayuda que me ha brindado.

Gracias a mis amistades y compañeros de trabajo, ellos me han empujado cuando yo me quería detener y sin sus ánimos tampoco hubiese podido llegar hasta aquí.

Y por último, pero no menos importante, muchas gracias a Norena y Carlos por confiar en mí para desarrollar este TFG.

6. Bibliografía

AENOR. (2016). Estándares en apoyo del BIM. Recuperado de: <http://www.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=1&codigo=42364&tipon=#.WajGMSjyIU>

BIM, obligatorio en España desde 2018. (2017). Recuperado de: <https://www.cice.es/noticia/landing-blog/bim-obligatorio-espana-2018/>

Casco de Realidad Virtual. (2017, 3 julio). Recuperado 31 de agosto, 2017, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Casco_de_realidad_virtual

Rho, Juhee. (2015). Virtual-Augmented Reality for Construction, utilizing Gear VR. Recuperado de: <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2015/revit-for-architects/cs10427#chapter=0>