



# Desarrollo de un Modelo Estándar de Interacción para Entornos Virtuales

Juan Luis Berenguel Forte\*, Francisco Luis Gutiérrez Vela†, Patricia Paderewski Rodríguez‡ y Daniel Pérez Gázquez§

Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación  
Universidad de Granada

Granada, España

\*Email: juanlubf@ugr.es

†Email: fgutierr@ugr.es

‡Email: patricia@ugr.es

§Email: danielpg@ugr.es

**Resumen**—Dentro del ámbito de los videojuegos de inmersión virtual existe gran variedad de modelos de interacción, ya que los desarrolladores utilizan técnicas muy específicas para sus aplicaciones. Este trabajo trata de recopilar información acerca de las distintas técnicas existentes dentro de dichos entornos virtuales, ya sea bajo el paradigma de la realidad virtual (RV) o el paradigma de la realidad aumentada (RA), para extraer un modelo estándar que satisfaga las necesidades de los desarrolladores y permita la implementación de una librería que de soporte a las interacciones descritas en dicho modelo.

## I. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones que se desarrollan para entornos tanto de realidad virtual como de realidad aumentada necesitan usar técnicas de interacción que se adapten a los dispositivos de entrada (mandos, *joysticks*, móviles táctiles ...) y dispositivos de salida (móviles, gafas, proyectores ...) que los sistemas de realidad virtual y aumentada proporcionan a los usuarios. Aunque estos entornos virtuales (EV) llevan varias décadas entre nosotros, la mayor parte de la investigación se ha centrado en el desarrollo de la tecnología que la sustenta [1], por lo que nos encontramos que el uso de técnicas de interacción no está generalizado y cada aplicación usa e implementa técnicas muy específicas. Una gran parte de las aplicaciones que se desarrollan para estas tecnologías son videojuegos, por lo que el uso de técnicas correctas en estos entornos pueden ser la clave para conseguir que un videojuego sea un éxito o un fracaso, ya que influyen en gran medida sobre la experiencia que va a percibir el jugador.

Teniendo en cuenta esta necesidad, en este trabajo proponemos un modelo de abstracción de las técnicas de interacción para ambos paradigmas que permita generalizar las técnicas existentes e implementar un proyecto de prueba de distintas técnicas que de soporte a los desarrolladores a la hora de determinar qué técnicas utilizar.

## II. MOTIVACIÓN

Dado que en la actualidad no existe un modelo estándar de interacción para entornos virtuales, se produce una discordancia entre las necesidades de los usuarios de este tipo de software y las implementaciones que se realizan. En ocasiones,

este problema puede desembocar en el aumento de la dificultad para el desarrollo de una aplicación efectiva por parte de los desarrolladores, o en la implementación de una técnica no adecuada para el contexto de uso de la aplicación.

En el caso de las aplicaciones de realidad virtual el problema se incrementa, pues implementar un sistema de navegación dentro de este entorno suele resultar dificultoso debido a los problemas relacionados con la sensación de mareo, la pérdida de inmersión y la desorientación, producto de sentir que se está realizando un desplazamiento, pero el cuerpo no se está moviendo físicamente.

### II-A. Objetivos propuestos

El propósito de este trabajo consiste en realizar una revisión de las principales técnicas de interacción existentes, atendiendo a su facilidad de uso y a su extensión dentro de los entornos virtuales, así como de otras propuestas anteriores de clasificación de dichas técnicas de interacción, para proponer un modelo abstracto que permita a los desarrolladores tener una guía de implementación para saber cuáles son las mejores técnicas y por qué para las necesidades específicas de su proyecto sin que tengan que recurrir a implementar las suyas propias.

Como trabajo paralelo a este análisis de las técnicas de interacción se implementará un proyecto de ejemplo que permita utilizar las técnicas de mayor relevancia (tanto para realidad virtual como para realidad aumentada) para poner a prueba el modelo y poder evaluar la experiencia de los usuarios. Esto nos permitirá poder evaluar tanto el modelo de interacción propuesto, como las propias técnicas que sean implementadas.

## III. ESTADO DEL ARTE

En la literatura científica existen muchos trabajos donde sus autores proponen distintos modelos de clasificación de las interacciones que se dan lugar entre los usuarios y el entorno virtual. En esta sección se citarán algunos de los trabajos que se han encontrado más relevantes para nuestro objetivo.

En [2] se propone una clasificación en 2 grandes categorías principales, que luego se subdividen en varias subcategorías:

- Técnicas egocéntricas: engloba las técnicas que permiten al usuario fundirse con el entorno virtual. Se subdivide en manipulación directa, control físico y control virtual.
- Técnicas exocéntricas: engloba las técnicas que hacen que el usuario no se sumerja en el entorno virtual, sino que se siente un elemento ajeno a este. Se subdividen en manipulación directa, control físico y control virtual.

En [3] se propone una división de las técnicas de interacción en RA en tangibles (se basan en interactuar con un dispositivo físico) e intangibles (se basan en interactuar sin el dispositivo físico). Esta categorización de las técnicas se verá con más detalle en la sección V-B. Adicionalmente, en este trabajo midieron el grado de usabilidad que presentaba cada conjunto de técnicas, resultando el grupo de técnicas tangibles ser el que resultaba más fácil de usar y menos estresante para los usuarios. No obstante, las técnicas intangibles resultaron ser más atractivas y divertidas para los usuarios.

En [4] se propone una categorización de las técnicas en 3 modalidades:

- Interacción directa del usuario: engloba todas las técnicas que requiere el reconocimiento del cuerpo del usuario (seguimiento de manos, reconocimiento de gestos, etc).
- Controles físicos: engloba las técnicas que requieren la utilización de un dispositivo físico, como botones, *joysticks*, volantes, etc.
- Controles virtuales: engloba las técnicas que utilizan un elemento virtual como medio de interacción con el entorno. Dentro de este ámbito, prácticamente cualquier elemento virtual puede ser utilizado para tal propósito.

#### IV. TÉCNICAS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS VIRTUALES

El campo de la Interacción Persona-Ordenador (IPO) abarca los campos de estudio relativos al diseño, estudio y planificación de la interacción producida entre los humanos y las computadoras [3]. Dentro del campo de la IPO existen técnicas de interacción especialmente dirigidas a los entornos virtuales, las cuales definen el conjunto de interacciones que pueden realizar las personas para relacionarse con el entorno, ya sea mediante el uso de un dispositivo o no.

Con el aumento de la publicación de videojuegos que utilizan estos entornos virtuales como plataforma, la investigación en técnicas de interacción en entornos virtuales cobra una gran importancia, pues son la clave de una buena inmersión del jugador en dichos entornos, lo cual se traduce en mayor disfrute por parte del jugador y mayor probabilidad de éxito para el videojuego.

Podemos dividir las interacciones en dos grandes grupos: interacciones avanzadas e interacciones básicas.

Según [4], las interacciones básicas en los entornos virtuales se pueden dividir en los siguientes grupos: selección, manipulación, escalamiento, navegación e interacción con menús virtuales y *widgets*. No obstante, las interacciones se pueden

clasificar en dos paradigmas distintos, en función de si operamos en realidad virtual (local y a distancia) o en realidad aumentada (tangibles e intangibles), tal y como se verá en el capítulo V.

Por otro lado, las interacciones avanzadas serían aquellas que están compuestas por un conjunto de interacciones básicas. Como ejemplo, la acción de lanzar una pelota sería una interacción avanzada compuesta por una selección y serie de acciones de manipulación. Debido a esta relación de composición, sólo analizaremos en profundidad las interacciones básicas.

##### IV-A. Selección

Según [5], la selección de un objeto virtual hace referencia al acto de elegir o especificar un objeto en concreto para un propósito específico. Este acto de selección debe dividirse en dos pasos: primero se ha de identificar el objeto a seleccionar y después se procede a realizar la selección de dicho objeto identificado.

Para realizar la selección de un objeto virtual podemos usar distintas técnicas atendiendo al tipo de entorno virtual en el que estemos. En realidad virtual podemos usar técnicas locales o a distancia, y en realidad aumentada, podemos usar técnicas tangibles e intangibles.

Además, también es necesario que el usuario reciba algún tipo de *feedback* para saber que la selección se ha realizado exitosamente [4].

##### IV-B. Manipulación

La interacción de manipular un objeto en un entorno virtual hace referencia a la tarea de modificar las propiedades de la posición y la orientación de dicho objeto. Es necesario destacar que para realizar la manipulación de un objeto es necesario haber realizado una selección previa de dicho objeto, aunque para realizar la selección de un objeto no es necesaria la manipulación del mismo. Nuevamente, para realizar estas acciones disponemos de técnicas locales y a distancia (en RV), y de técnicas tangibles e intangibles (en RA).

Dentro de la manipulación hay 3 aspectos esenciales a controlar: el cambio en la posición, el cambio en la orientación y el centro de rotación [4].

El **cambio en la posición** hace referencia al número de unidades de distancia en el mundo virtual en las que dicho objeto es desplazado, además de en qué eje(s) se produce el desplazamiento. La correspondencia entre las unidades de distancia del mundo virtual y las del mundo real puede ser 1:N, es decir, el objeto no tiene por qué desplazarse en el mundo virtual de forma análoga al desplazamiento que nosotros realicemos en el mundo real.

El **cambio en la rotación** hace referencia al número de unidades de rotación en el mundo virtual en las que dicho objeto es rotado, además de en qué eje(s) se produce la rotación. Al igual que con la posición, es posible establecer una correspondencia 1:N entre el mundo virtual y el mundo real.



El **centro de rotación** es el punto en torno al cuál el objeto realizará la rotación. Dicho punto puede ser el centro del objeto virtual u otro punto establecido arbitrariamente por el usuario.

Como ejemplo de una de las técnicas de manipulación en RV más utilizadas se ha observado el uso de los mandos como manos virtuales y el botón de disparo trasero para simular el agarre de un objeto de virtual para luego moverlo y/o rotarlo.

#### IV-C. Escalamiento

El escalamiento consiste en modificar el tamaño de un objeto dentro del mundo virtual, ya sea para hacerlo más grande o para hacerlo más pequeño. Al igual que la manipulación, necesita que se haya realizado previamente la selección del objeto que se pretende escalar y se puede realizar mediante técnicas locales y a distancia (en RV) y mediante técnicas tangibles e intangibles (en RA).

Para escalar un objeto es necesario definir dos parámetros clave: el centro de escala y el factor de escala [4].

El **centro de escala** es el punto que se utilizará como referencia para realizar el escalamiento: los puntos del objeto se acercarán al centro de escala cuando se disminuya el tamaño del objeto y se alejarán de dicho centro cuando se aumente el tamaño del objeto. Al igual que pasaba con el centro de rotación, este punto puede ser el centro del objeto o cualquier otro punto arbitrario determinado por el usuario.

El **factor de escala** define el número de unidades de tamaño que aumentará o disminuirá el objeto virtual al ser escalado. Al igual que en el desplazamiento y la rotación, no tiene por qué guardar una relación 1:1 con el mundo real.

#### IV-D. Navegación

Uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo de aplicaciones en entornos de realidad virtual es la navegación, ya que tal y como se explica en [6], el proceso de moverse por un entorno de realidad virtual puede producir mareos, e incluso vómitos, a los usuarios, aunque no siempre afecta de la misma manera a todos los usuarios, pues existen caracteres diferenciadores, tales como el género, la edad y la predisposición.

Por otra parte, en las aplicaciones de realidad aumentada generalmente la navegación no supone ningún problema, ya que para que se produzca un movimiento de la cámara, se ha de mover el dispositivo que se está utilizando para ver los objetos virtuales, lo cual implica el propio movimiento del usuario, que es consciente en todo momento de su situación en el mundo real (al contrario que sucede en la realidad virtual).

Según [7], la navegación consiste en seguir un curso mediante movimientos dirigidos. Unido a esta definición de navegación, también define el concepto de *wayfinding* (localización de camino) como la determinación de una estrategia, dirección y curso necesarios para alcanzar un destino deseado.

Para conseguir una navegación efectiva dentro de los entornos de realidad virtual es necesario tener en cuenta un serie de **factores que afectan a la navegación**, que se derivan directamente de 6 características que están relacionados entre

sí: entorno, usuario, tarea, estrategia de navegación, ayudas a la navegación y controles de movimiento [8].

**Entorno** describe atributos que están directamente relacionados con la estructura del mundo virtual como el tamaño, el grado de abstracción a representar o si se trata de un entorno multiusuario o no. Es un factor que depende en gran medida del tipo de aplicación.

**Usuario** define las características que tiene un usuario, como su edad, su género, sus habilidades y sus debilidades.

**Tarea** define el objetivo que el usuario pretende conseguir dentro de la aplicación. La navegación deberá ser acorde al tipo de aplicación y al objetivo que tenga el usuario.

**Estrategia de navegación** describe conceptos que se usan para navegar por un entorno, tales como “buscar”, “navegación vectorial” y “navegación posicional”, que a su vez se componen de acciones básicas como “alcanzar el objetivo”, “seguir el curso” o “seguir la pared” [9].

Las **ayudas a la navegación** consisten en un conjunto de ayudas (que pueden ser parte del entorno u objetos externos) que ayudan al usuario a determinar la dirección de la navegación, a determinar su posición o ambas cosas.

Los **controles de movimiento** abarcan tanto los dispositivos *hardware* como el *software* necesarios para realizar la navegación dentro del mundo virtual.

Un aspecto importante a tener en cuenta son los **tipos de navegación**, ya que la navegación en entornos de realidad virtual se puede llevar a cabo utilizando distintos paradigmas, de hecho, es normal encontrar aplicaciones de realidad virtual que implementan más de un tipo de navegación. Los paradigmas más usados son la navegación basada en vuelo, navegación de movimiento libre, navegación de movimiento vehicular, navegación basada en nodos, navegación de escalada, teletransportación basada en arco, navegación basada en un avatar fantasma, navegación usando puntos mallados, teletransporte a cámaras prefijadas y navegación basada en parpadeo (*blink*) [6]. Asimismo, también existe la navegación en raíles [10], la navegación basada en la inclinación del usuario [11], la navegación por gestos [12] e, incluso, es posible utilizar elementos *hardware* específicos que nos permiten navegar por el mundo virtual aumentando el grado de inmersión y de simulación de la realidad.

La navegación basada en arco es uno de los tipos de navegación más utilizados, la cual consiste en lanzar desde el mando un rayo virtual parabólico que nos indica en el suelo dónde vamos a ser teletransportados una vez soltemos el botón.

Por último, cabe destacar que también existen aplicaciones de realidad virtual donde el entorno se construye de forma que el usuario no tenga que desplazarse por el mundo virtual, con lo que se evita la navegación.

#### IV-E. Interacción con menús virtuales y widgets

La interacción con menús virtuales dentro de los entornos virtuales ofrece a los usuarios una nueva forma de poder interactuar con los objetos de dichos entornos, en ocasiones, facilitando tareas que serían complejas de otra manera. Según [4], los menús de interacción pueden tener una, dos o incluso

tres dimensiones, con una relación directa de aumento de posibilidades de interacción y de complejidad de manejar. No obstante, existen ciertos problemas y limitaciones que son independientes de la dimensión del menú, tales como la posición óptima para colocar el menú dentro de la interfaz del usuario o cómo acceder a él (utilizando un botón, un comando de voz, un gesto específico, etc).

Dentro de este ámbito, un ejemplo común de interacción sería la manipulación directa de objetos de interfaz virtuales, tales como pulsar un botón o desplazar una guía.

## V. MODELO DE ABSTRACCIÓN PROPUESTO

Tanto en los entornos de realidad virtual y de realidad aumentada, la gran variedad de formas de interacción entre los usuarios y las aplicaciones genera problemas a los desarrolladores, que no disponen de un modelo estándar y simplificado que les permita decidir qué tipo de interacción es la más adecuada para las necesidades de su aplicación. No obstante, ambos entornos comparten ciertas similitudes que permiten proponer un modelo que pueda aportar una solución genérica para ciertas interacciones comunes.

Para poder establecer un modelo abstracto de las interacciones es necesario establecer una correspondencia entre una necesidad real de interacción en un entorno específico y una o varias técnicas que la satisfagan. Por lo tanto, es imperante conocer las necesidades del desarrollador, que para poder definir las se pueden dividir en tres pasos: qué se quiere hacer, cómo se quiere hacer y las necesidades específicas (si las hubiere) relacionadas con el contexto específico de uso de la aplicación. Esta división se verá con detalle en la sección V-D.

Asimismo, para realizar el proceso de abstracción que englobe ambos entornos virtuales, es necesario entender en qué tipos de paradigmas se clasifican las interacciones en entornos de realidad virtual y de realidad aumentada para poder abstraerse aún más y proponer un modelo más abstracto que nos permita definir una categorización que abarque tanto las técnicas de realidad virtual como las de realidad aumentada pero manteniendo la posibilidad de profundizar y realizar una clasificación más concreta hasta llegar al nivel de implementación.

Según [4], en un entorno de realidad virtual se pueden diferenciar técnicas según si la interacción entre el usuario y el entorno virtual se hace a nivel local o a distancia.

Por otra parte, según [3], dentro del ámbito de la realidad aumentada, podemos clasificar principalmente las interacciones en dos grandes categorías: técnicas tangibles y técnicas intangibles.

### V-A. Interacción en realidad virtual

Cuando utilizamos aplicaciones de realidad virtual contamos con un dispositivo visualizador (*Head Mounted Display*, HMD), uno o más controles físicos (mandos) y, en ocasiones, otros dispositivos auxiliares, como sensores, que nos ayudan a posicionar a los usuarios, u otros objetos, en el espacio virtual. El uso de estos dispositivos permite que podamos

tener una representación virtual de un elemento del mundo real. Por ejemplo, el mando que usamos en el mundo real, se transforma en una mano dentro del mundo virtual que podemos controlar mediante los botones y el movimiento de dicho mando. No obstante, estos dispositivos también pueden ayudarnos a interacciones con elementos que no estén a nuestro alcance.

Por lo tanto, en el ámbito de la realidad virtual las interacciones se pueden realizar de dos formas principalmente: de forma local y a distancia [4].

En la **interacción local** el usuario, que es posicionado en el mundo virtual mediante el HMD, ha de estar en una posición cercana al objeto virtual y, utilizando uno de los mandos, que es visualizado dentro del entorno virtual (generalmente como una mano virtual) puede interactuar con el objeto deseado. Es decir, en este paradigma de interacción es necesario que el objeto virtual esté al alcance de la mano del usuario dentro del entorno virtual.

En la **interacción a distancia** existe mayor libertad de acción, pues el usuario puede utilizar, nuevamente, un mando para apuntar a distancia a un objeto y seleccionarlo (*raycasting*), seleccionar el objeto que esté mirando, seleccionar un objeto mediante gestos o, incluso, mediante comandos de voz.

### V-B. Interacción en realidad aumentada

En la realidad aumentada se utiliza un dispositivo con una cámara que nos permite ver objetos virtuales superpuestos en nuestro entorno físico. Por ello, en el ámbito de la realidad aumentada podemos interactuar de manera tangible y de manera intangible.

La **interacción tangible** es cualquier interacción en la que el usuario utiliza un dispositivo físico para llevarla a cabo [3]. Esta puede ser de dos tipos: basada en toque, donde el usuario selecciona un objeto tocando la pantalla de un dispositivo, o basada en dispositivo, donde la interacción se realiza por medio de los datos recopilados de los sensores del dispositivo, como el acelerómetro.

La **interacción intangible** hace referencia al tipo de interacción que se realiza sin una interacción física del usuario con la máquina (gestos en el aire, interacción por voz, etc) [3]. Las interacciones intangibles se pueden dividir en dos grupos: basadas en marcadores y no basadas en marcadores.

### V-C. Abstracción de las técnicas de interacción

Tal y como se vio en la sección V-B y según el criterio de clasificación de [3], dentro del ámbito de la realidad aumentada, las interacciones implementadas se pueden clasificar en: tangibles e intangibles.

Adicionalmente, tal y como se vio en la sección V-A, en [4] se clasifican las técnicas de interacción dentro de los entornos de realidad virtual en técnicas locales y a distancia.

Utilizando como fuente estas dos nomenclaturas, se propone una clasificación más abstracta, que divide las interacciones en directas e indirectas, y permita generalizar la clasificación de las técnicas de interacción tanto de realidad virtual como de realidad aumentada, con el fin de exponer las características





comunes a ambos entornos. Utilizando esta clasificación, se puede realizar una correspondencia entre las acciones que podemos realizar en ambos entornos virtuales, a qué necesidad real corresponden y qué posibles implementaciones podemos utilizar para satisfacer dichas necesidades, según el tipo de técnica que queramos usar.

**Interacción directa.** Este grupo de interacciones engloban todas aquellas interacciones en las que el usuario se relaciona de una forma directa, es decir, sin ningún tipo de intermediario con un objeto virtual. Para ello, puede utilizar tanto interacciones con su propio cuerpo (tales como gestos o comandos de voz), como interacciones que utilicen un dispositivo físico (por ejemplo, coger un objeto virtual con un mando). Los dispositivos físicos no se consideran como intermediarios porque en el entorno virtual actúan como un elemento que es capaz de virtualizar una parte del cuerpo del usuario o una interacción suya. En el apartado de interacción indirecta se explican con más detalle los elementos considerados como intermediarios.

Tal y como se explicó anteriormente, esta categoría estaría a un nivel más alto de abstracción que las interacciones mostradas en la sección, por lo que dentro de ésta podrían incluirse tanto técnicas de interacción local y a distancia, para realidad virtual, y técnicas de interacción tangible e intangible para realidad aumentada.

**Interacción indirecta.** Este tipo de interacciones están basadas en la utilización de un elemento virtual intermediario que sirve para interactuar con otro objeto virtual. Tal y como se comentó en el apartado de interacción directa, los mandos utilizados en realidad virtual no se consideran elementos intermediarios debido a que en realidad son dispositivos físicos del mundo real que simplemente permiten tener una representación virtual de ellos mismos.

Por lo tanto, un elemento intermediario será todo aquel que existe únicamente dentro del entorno virtual. Esto también es aplicable a la realidad aumentada, donde el dispositivo utilizado para visualizar los elementos virtuales tampoco es considerado un intermediario. Un ejemplo de este tipo de interacción podría ser utilizar un bate de béisbol virtual para golpear una pelota, también virtual.

Al igual que en las interacciones directas, en esta clasificación estarían incluidas tanto técnicas locales, técnicas a distancia, técnicas tangibles y técnicas intangibles.

#### V-D. Guía de diseño

Una vez conocido cómo se agrupan las técnicas de interacción, podemos empezar a establecer de qué manera se han de guiar las necesidades de los desarrolladores para que sepan de qué técnicas disponen para sus aplicaciones y qué características tienen, ya que esto será un aspecto fundamental para el contexto de uso de la aplicación. Ya que la categorización de las técnicas realizada en la sección anterior corresponde a un planteamiento a nivel de diseño, las necesidades básicas del desarrollador (qué quiere hacer y cómo quiere hacerlo) se mapearán también a este nivel de abstracción. En último lugar, las necesidades específicas de la aplicación marcarán qué tipo

de implementación se usará, una vez establecido el criterio de filtro a nivel de diseño. Para establecer estos criterios de selección se puede hacer con una estructura de pregunta - respuesta.

**Qué hacer** define la acción que se desea realizar. Puede tratarse tanto a nivel de interacciones básicas como a nivel de interacciones avanzadas (ver sección IV). Esta decisión se encuentra en la capa de diseño.

Ejemplo: “Quiero lanzar una pelota en RV” - “Debes implementar técnicas de selección y manipulación”.

**Cómo hacerlo** define cómo se quiere llevar a cabo la acción. Es decir, define si se quiere interactuar a distancia, de forma tangible, por voz, por gestos, etc. Esta decisión se encuentra también en la capa de diseño, pero condiciona la implementación, pues si se quiere, por ejemplo, realizar la interacción a distancia, ya no se pueden usar técnicas locales.

Ejemplo: “Quiero realizar el lanzamiento sin desplazarme físicamente ni virtualmente” - “Debes implementar técnicas de selección a distancia (por ejemplo, *raycasting* para interacción directa o menú virtual para interacción indirecta)”.

**Preferencias** define las necesidades concretas que los desarrolladores pueden tener en el contexto de uso de la aplicación. Por ejemplo, a la hora de implementar un sistema de navegación se puede querer usar el que produzca mayor sensación de inmersión, el que produzca menor sensación de mareo, etc. Esta decisión se encuentra en la capa de implementación, pues estas necesidades se cubrirán dependiendo de la implementación concreta utilizada para un tipo de interacción.

Ejemplo: “Quiero que el lanzamiento sea realista” - “Debes realizar las acciones de manipulación (desplazamiento y rotación de la pelota) de forma local y directa para emular el lanzamiento de la pelota con el mando”.

#### VI. VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

Con el fin de poner a prueba el uso del modelo propuesto, se ha implementado una aplicación, tanto en realidad virtual como en realidad aumentada, que permite al usuario elegir qué tipo de interacción desea realizar para una acción simple (por ejemplo, seleccionar y rotar un objeto virtual). De esta manera, se pueden obtener dos corrientes de *feedback*:

1. Validar el modelo propuesto. Al poner a prueba el modelo propuesto con usuarios reales (desarrolladores) se puede corroborar la correctitud y la facilidad de uso del modelo propuesto, pues es imperante que los desarrolladores encuentren la clasificación de las técnicas intuitiva y fácil de comprender.
2. La usabilidad de las técnicas. Como resultado paralelo, se puede estudiar la usabilidad de cada tipo de técnica para conocer más detalles y poder ofrecer más información a los desarrolladores acerca de los puntos fuertes y débiles de las mismas. Estos datos se podrán contrastar y complementar con los de otros estudios, como los realizados en [3], tal y como se mencionó en la sección III.

La implementación de ambas aplicaciones se ha hecho utilizando el motor de videojuegos Unity [13]. La elección

de este motor de videojuegos es debido a su facilidad de uso (tanto en curva de aprendizaje como por su licencia gratuita) y su compatibilidad con otros *frameworks* necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Para la aplicación de realidad virtual se utiliza el *framework* SteamVR [14], ya que permite compatibilidad con distintos dispositivos *hardware*, es gratuito y, además, ofrece multitud de proyectos y herramientas de ejemplo para ayudar a los desarrolladores a empezar a implementar aplicaciones de realidad virtual con Unity. Se han implementado un total de 7 tipos de navegación (movimiento libre normal y alternativo, teletransporte libre y de nodos, dash, movimiento de brazos y escalada), ya que la navegación en entornos de realidad virtual suele dar más problemas, por lo que resulta de mayor importancia en el estudio.

Para la aplicación de realidad aumentada se ha utilizado el *framework* de Vuforia [15], ya que viene integrado de forma nativa en las últimas versiones de Unity, es compatible con dispositivos móviles Android e iOS, es gratuito y cuenta con tutoriales que permiten a cualquier usuario comenzar a desarrollar sus aplicaciones de forma rápida y sencilla. Se implementaron técnicas de interacción tangibles, directas e indirectas, e intangibles, directas e indirectas.

## VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Tal y como se ha expuesto en la sección II, ha quedado patente el problema existente para los desarrolladores de aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada para implementar correctamente técnicas de interacción que resulten agradables a los usuarios.

Con el objetivo de dar una solución a este problema, se ha propuesto un modelo de interacción más abstracto, que sirve tanto para las interacciones en entornos de realidad virtual como realidad aumentada. Dicho modelo va acompañado de la implementación en ambos entornos de distintas técnicas de interacción para poder evaluar y corroborar la usabilidad del mismo, así como la usabilidad de las distintas técnicas, con el fin de poder brindar a los desarrolladores una guía de qué tipo de interacción deben usar en sus aplicaciones, atendiendo a diferentes criterios.

Las aplicaciones se pusieron a prueba con usuarios reales, donde éstos valoraron que la mejor técnica de navegación en realidad virtual era la escalada, en gran parte debido a su similitud por el movimiento real de los brazos al escalar. Por otra parte, en la aplicación de realidad aumentada, la técnica mejor valorada fue la tangible directa, debido a que es una forma de interacción que está ampliamente normalizada en nuestra sociedad.

Como trabajo futuro, se plantea el proceso de puesta a prueba del modelo con desarrolladores reales para comprobar la facilidad de uso del modelo. Asimismo, se plantea el proceso de ampliar las aplicaciones de prueba para testear más técnicas de interacción con usuarios y poder completar la guía de diseño para desarrolladores.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España dentro del proyecto DISPERSA (TIN2015-67149-C3-3-R).

## REFERENCIAS

- [1] M. Billinghurst, H. Kato, and S. Myojin, "Advanced Interaction Techniques for Augmented Reality Applications," *LNCS*, vol. 5622, pp. 13–22, 2009.
- [2] J. Jung, H. Park, D. Hwang, M. Son, D. Beck, J. Park, and W. Park, "A Review on Interaction Techniques in Virtual Environments," in *2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2014, pp. 1582–1590.
- [3] L. Ahmed, S. Hamdy, D. Hegazy, and T. El-Arif, "Interaction techniques in mobile augmented reality: State-of-the-art," in *2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, Dec 2015, pp. 424–433.
- [4] M. R. Mine, "Virtual environment interaction techniques," Chapel Hill, NC, USA, Tech. Rep., 1995.
- [5] D. A. Bowman, "Interaction techniques for immersive virtual environments: Design, evaluation, and application," *Journal of Visual Languages and Computing*, vol. 10, pp. 37–53, 1998.
- [6] M. J. Habgood, D. Wilson, D. Moore, and S. Alapont, "Hci lessons from playstation vr," in *Extended Abstracts Publication of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, ser. CHI PLAY '17 Extended Abstracts. New York, NY, USA: ACM, 2017, pp. 125–135.
- [7] T. T. Elvins, "Wayfinding 2: The lost world," *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 31, no. 4, pp. 9–12, Nov. 1997.
- [8] S. Volbracht and G. Domik, "Developing Effective Navigation Techniques in Virtual 3D-Environments," *Proceedings of the Eurographics Workshop*, pp. 55–64, 2000.
- [9] B. Krieg-Brückner, T. Röfer, H. Carmesin, and R. Müller, "A taxonomy of spatial knowledge for navigation and its application to the bremen autonomous wheelchair," in *Spatial Cognition, An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*, 1998, pp. 373–398.
- [10] E. Nevala, "Design guide for room scale vr," <https://www.gamedev.net/articles/game-design/game-design-and-theory/design-guide-for-room-scale-vr-r4355/>, accedido: junio de 2018.
- [11] P. Locomoto, "Lean walk," <https://www.realovirtual.com/noticias/5326/project-locomoto-presenta-su-sistema-movimiento-inclinacion>, accedido: junio de 2018.
- [12] J. C. S. Cardoso, "Comparison of gesture, gamepad, and gaze-based locomotion for vr worlds," in *Proceedings of the 22Nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, ser. VRST '16. New York, NY, USA: ACM, 2016, pp. 319–320.
- [13] Unity, <https://unity3d.com>, accedido: junio de 2018.
- [14] Steam, <https://steamcommunity.com/steamvr>, accedido: junio de 2018.
- [15] Vuforia, <https://www.vuforia.com/>, accedido: junio de 2018.