

# Técnicas de Interacción para Sistemas de Realidad Aumentada

Roberto Garrido<sup>1</sup> y Alex García-Alonso<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Construcción y Desarrollo del Territorio, LABEIN-Tecnalia, Parque Tecnológico de Bizkaia, 48160 Derio-Bizkaia

<sup>2</sup> UPV-EHU, Facultad de Informática, 20018 Donostia-San Sebastián-Gipuzkoa  
[rgarrido@labein.es](mailto:rgarrido@labein.es), [alex.galonso@ehu.es](mailto:alex.galonso@ehu.es)

**Abstract.** En este artículo se presenta una revisión del estado del arte en técnicas de interacción para sistemas de realidad aumentada. Esta revisión se centra en una clasificación de las técnicas de interacción utilizadas en aplicaciones de realidad aumentada. Se incluyen los últimos desarrollos en esta línea y, además de la interacción basada en interfaces tangibles, que es la más habitual, se describen otras técnicas muy utilizadas en este tipo de aplicaciones. Hoy en día la dependencia que tienen las personas de utilizar un ordenador es destacable. Por ello, la interacción es uno de los aspectos más críticos para mejorar el proceso de comunicación entre el usuario y los ordenadores. La interacción con los computadores puede considerarse como un proceso de ida y vuelta. Sin embargo, este estudio se centra únicamente en las técnicas de entrada que el usuario utiliza para comunicarse con el sistema. Después de realizar este trabajo de exploración, se pueden detectar varias tendencias en este tipo de sistemas de interacción.

**Keywords:** Estado del Arte, Realidad Aumentada, Interacción Hombre-Máquina.

## 1 Introducción

En este artículo se presenta una revisión del estado del arte en técnicas de interacción para sistemas de realidad aumentada. La realidad aumentada es una variación de la realidad virtual. En la tecnología virtual, el usuario se sumerge en un mundo totalmente virtual, sin tener contacto con el mundo real que le rodea. Sin embargo, la realidad aumentada permite que el usuario vea el mundo real aumentado con información adicional generada por un ordenador. Este aumento consiste en objetos virtuales que se añaden al entorno o en información no geométrica sobre los objetos reales existentes [2]. Idealmente, el usuario percibe que los objetos reales y virtuales coexisten en el mismo espacio. Estos sistemas aumentados combinan lo real y lo virtual, son interactivos en tiempo real y presentan objetos tridimensionales.

En la línea de este trabajo, Szalavari Z. et al. [49] presentan en 1997 una revisión de las metáforas de interacción en sistemas de realidad aumentada, centrándose en el uso de las dos manos. En 2006, Haller M. et al. [16] realizan un análisis de los principales métodos de interacción en aplicaciones de realidad aumentada. Este

trabajo se centra en la revisión de las aplicaciones de realidad aumentada tangible que han tenido éxito durante los últimos años y examina el diseño de sus técnicas de interacción. La revisión que se realiza en este artículo se centra en una clasificación de las técnicas de interacción utilizadas en aplicaciones de realidad aumentada. Se incluyen los últimos desarrollos en esta línea y, además de la interacción basada en interfaces tangibles, se describen otras técnicas muy utilizadas en este tipo de aplicaciones.

Hoy en día la dependencia que tienen las personas de utilizar un ordenador es destacable. Por ello, la interacción es uno de los aspectos más críticos para mejorar el proceso de comunicación entre el usuario y los ordenadores. Las aplicaciones de realidad aumentada poseen ciertas características que hacen necesarias nuevas técnicas y dispositivos de interacción diferentes a los que se usan en aplicaciones tradicionales (ratón, teclado, etc.). La interacción con los ordenadores puede considerarse como un proceso de ida y vuelta. Sin embargo, este estudio se centra tanto en los dispositivos de entrada que el usuario utiliza para comunicarse con el sistema, como en la forma de utilizar los mismos.

El artículo se estructura de la forma siguiente: inicialmente, se hará una revisión del estado del arte en técnicas de interacción basadas en realidad aumentada que usen marcadores. Más adelante, se expondrán los trabajos realizados en técnicas de interacción que utilicen movimientos corporales. Después, se analizará el estado del arte de los dispositivos de bajo coste como herramienta de interacción basada en realidad aumentada. Además, se definirá la interacción multimodal y revisarán los sistemas propuestos basados en este tipo de interacción. Las técnicas de interacción detectadas no clasificables en los apartados anteriores serán revisadas posteriormente. El documento finaliza con las conclusiones obtenidas. Después de realizar este trabajo de exploración, se pueden detectar ciertas tendencias en este tipo de sistemas de interacción, que se explican en el apartado de conclusiones de este artículo.

## **2 Interfaces tangibles basadas en el uso de marcadores**

Ishii H. et al. definen las interfaces tangibles en [23] como aquellas interfaces en las que aumentan el mundo físico real emparejando información digital con entornos y objetos físicos del día a día. Los sistemas de marcadores, como ARToolkit [25], permiten implementar este tipo de interfaces. En ellas, el usuario manipula un elemento real al que se le ha colocado un marcador, y los resultados son reflejados en los movimientos del correspondiente objeto virtual asociado.

Existen varias técnicas de interacción basadas en el uso de marcadores. Una técnica de interacción muy recurrida consiste en utilizar una paleta con un marcador en la parte superior. Sus propósitos pueden ser varios. En [43] se describe un sistema de realidad aumentada que permite a múltiples usuarios interactuar con datos 2D y 3D usando interfaces tangibles basadas en el uso de marcadores. Las técnicas mostradas son dos: la primera consiste en una paleta en cuya parte superior se sitúa un marcador. Dicha paleta actúa de plano cortante de la geometría 3D mostrada frente al usuario. De esta forma, el usuario es capaz de observar el interior del modelo 3D utilizando una interfaz tangible. La otra técnica consiste en utilizar una linterna real, colocando

un marcador en uno de los laterales de la misma. El objetivo es que el usuario sea capaz de utilizar una fuente de luz real para alumbrar un objeto virtual. En [22] se utiliza esta misma técnica para interactuar con un sistema de diseño de interiores. En [53], se utiliza de nuevo la idea de la paleta con un marcador en la parte superior, esta vez para interactuar con un sistema de clasificación de especies botánicas. En [33], Looser J. et al. presentan una técnica de interacción para entornos de realidad aumentada para el filtrado de información. Consiste en una paleta con un marcador en la parte superior, añadiendo un dispositivo trackball en la parte inferior. El usuario es capaz de utilizar esta técnica a modo de lupa, con la cual puede filtrar selectivamente información sobre el modelo virtual situado frente a él. Dicho paradigma de interacción recibe el nombre de Magic Lens. El sistema Magic Lens se usa también en [36], esta vez usando una paleta con un sistema de tracking por infrarrojos. La opción de usar las dos manos otorga al usuario la posibilidad de filtrar la información virtual por varios conceptos. El paradigma Magic Lens se analiza en [4], donde se contrasta con una guía de principios de diseño para desarrollar interfaces basadas en realidad aumentada. Con MagicBook [5], Billingham M. et al. describen un sistema de interacción tangible en el que el usuario maneja un libro real con marcadores en cada página (ver Fig. 1).

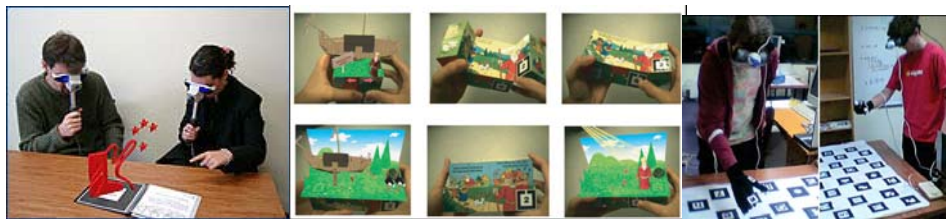
Otra variación de las interfaces tangibles consiste en utilizar marcadores de dos tipos, uno de datos y otro de funciones con los que el usuario interactúa para lograr distintos efectos. Poupyrev et al. detallan en [42] este sistema de interacción. El usuario puede, mediante el acercamiento e inclinación de marcadores, realizar operaciones de copia u otras más complejas. En Tangible Tiles [52], ofrecen una técnica de interacción basada en realidad aumentada usando marcadores de dos tipos, datos y funciones. Ésta vez, el sistema consta de baldosas con un marcador y una zona libre donde un proyector muestra la información aumentada. El usuario es capaz de interactuar entre las baldosas, así como con la propia imagen que esta siendo proyectada.

Una técnica de interacción recurrida es usar marcadores en los dedos. Por ejemplo, Hosoya E. et al. [21] muestran un sistema de interacción en el cual el usuario toca objetos virtuales renderizados en un televisor frente al él, haciendo uso de un marcador situado en su dedo. Una variación de ésta consiste en dotar al usuario de guantes con marcadores. En esta línea, Piekarski W. et al. [41] presentan una interfaz de usuario basada en guantes a los que se le pegan marcadores en dos dedos. El usuario es capaz de manipular modelos del entorno utilizando sus manos. FingARtips [8] utiliza tres marcadores sobre un guante, a modo de pinza, para interactuar con elementos virtuales en un entorno de realidad aumentada (ver Fig. 1).

La utilización de cubos con marcadores como variante de interfaz tangible ha sido también explorada. Magic Story Cube [54] es un interfaz de realidad aumentada tangible para storytelling que utiliza un cubo físico desplegable con un marcador en cada cara. El usuario va descubriendo la historia a medida que va desmontando el cubo (ver Fig. 1). El paradigma del cubo con marcadores en cada lado se usa también en [47] para interactuar con un sistema de exploración distribuido. Usando dos cubos, el usuario es capaz de ensamblar una pieza usando ambas manos.

Otras técnicas a destacar utilizadas en sistemas de realidad aumentada son las siguientes: Kato H. et al. [26] proponen una técnica que consiste en utilizar una copa transparente puesta boca abajo, en cuya parte inferior se sitúa un marcador.

Desarrollan un sistema de interacción por gestos utilizando dicha copa, el cual se detalla más adelante. La oclusión de marcadores también ha sido analizada en [29] como método de interacción para un sistema realidad aumentada. Lee G. et al. presentan varias técnicas de interacción basadas en la oclusión de marcadores por parte del usuario. En concreto, realizan pruebas con un slider, botones virtuales, e interacción bimanual sobre un grid de marcadores. Los marcadores también se han usado a modo de elementos de menú de realidad aumentada en [10]. Una herramienta médica de uso cotidiano con un sistema de tracking sirve para interactuar con un menú 2D situado sobre unos marcadores. Están empezando a surgir aplicaciones para el entretenimiento basadas en tecnología de realidad aumentada, y los marcadores son muy utilizados en este tipo de aplicaciones. Con TARBoard [31] se propone una interfaz tangible de realidad aumentada usando marcadores en la parte posterior de las cartas. Con ayuda de un espejo y de una mesa de cristal, los usuarios no son conscientes de la utilización de marcadores, ya que estos no son visibles, solucionando de esta forma el problema de la oclusión accidental. En [11] se utilizan interfaces tangibles usando marcadores para crear superficies de interacción 2D en entornos de realidad aumentada.



**Fig. 1.** A la izquierda: MagicBook [5]. En el centro: Magic Stry Cube [54]. A la derecha: FingARTips [8].

### 3 Interacción basada en movimiento corporal

Una forma natural de interacción en sistemas de realidad aumentada consiste en la detección y seguimiento del movimiento de algún miembro del cuerpo. En este artículo, estas formas de interacción se han clasificado en: seguimiento de la posición de manos y de los dedos, de la dirección de la cabeza, y de la orientación de los dedos y de los ojos.

Existen distintas tecnologías para realizar el seguimiento de la posición y orientación de las manos, entre otras, tracking magnético, tracking inercial, sistemas de reconocimiento basados en visión, etc. En 2003, Kaiser E. et al. [24] implementan un sistema de gestos como técnica de interacción. Los gestos se basan en el uso de la mano y en el análisis de la dirección de la cabeza. Implementan cuatro tipos de gestos: para apuntar, para empujar, para voltear, y para rotar (ver Fig. 2). Ante la ambigüedad que supone apuntar con la mano a objetos virtuales en un entorno de realidad aumentada, en [39] presentan un puntero flexible que permite a un usuario

lanzar una flecha virtual desde su posición hasta un objeto a seleccionar, usando ambas manos, cuya posición y orientación se encuentra trackeada en el sistema.

Usando tecnología de reconocimiento basada en visión por computador, en [18] describen una técnica para seleccionar objetos reales en un entorno de realidad aumentada apuntando con el dedo. Bonanni L. et al. [7] implementan una forma de interacción mediante la cual el sistema detecta que el usuario ha presionado un botón que está proyectado sobre una superficie plana. En [27] implementan un sistema de interacción de gestos con la mano utilizando visión por computador con objeto de escalar, trasladar, y rotar objetos virtuales en un entorno de realidad aumentada. Gestos con la mano usando visión también son implementados en [15] con varios propósitos: interactuar con un menú 2D, mostrar una imagen aumentada sobre la palma de la mano, y manipular las piezas que caen en un tetris de realidad aumentada. Stafford A. et al. [48] implementan un sistema de reconocimiento gestos de la mano usando visión en un entorno de realidad aumentada colaborativo. Choi Y. et al. [9] proponen una interfaz de usuario basada en realidad aumentada usando visión por computador y un gesto con una mano para interactuar con un menú 2D. En [51] realizan un estudio Wizard Of Oz, en el cual examinan diferentes técnicas de manipulación 2D en entornos de realidad aumentada basados en proyección. Gestos del usuario son analizados y comparados frente a otras técnicas de interacción.

Existen librerías para interacción basadas en el reconocimiento de manos, por ejemplo Handy AR. Con el trabajo realizado en [30], se consigue una librería de tracking de mano usando visión. El error obtenido en comparación con el uso de marcadores es poco mayor que éste.

Los sistemas de marcadores presentados anteriormente también son objeto de uso en sistemas de interacción con gestos de mano. En [3], Barakonyi I. et al., hacen uso de gestos con marcadores usando ambas manos en su sistema de videoconferencia basado en realidad aumentada. En [22] desarrollan una técnica de interacción basada en gestos con una paleta con marcador. El usuario es capaz de realizar gestos estáticos (aproximar la paleta a un objeto virtual, inclinarla sobre él), y dinámicos (agitarlo, y golpearlo). En [13] crean un sistema de colaboración con un robot móvil usando gestos con una paleta con marcador y gestos con la cabeza (ver Fig. 2).

Los dedos del usuario también han sido analizados como técnicas de interacción para sistemas de realidad aumentada. Para ello, se han utilizado técnicas de visión basadas en el uso de marcadores, así como pantallas multitáctiles. El mencionado FingARTips [8], implementan una pinza con un guante y marcadores. El usuario puede coger elementos virtuales haciendo el gesto de pinza. El gesto de pinza usando marcadores también lo implementan Affonso E. et al. en [1], presentando un sistema de interacción remota usando realidad aumentada. Las superficies multitáctiles se han utilizado como entrada a sistemas de realidad aumentada usando los dedos, como es el caso del trabajo de Jang H. et al. en [17].

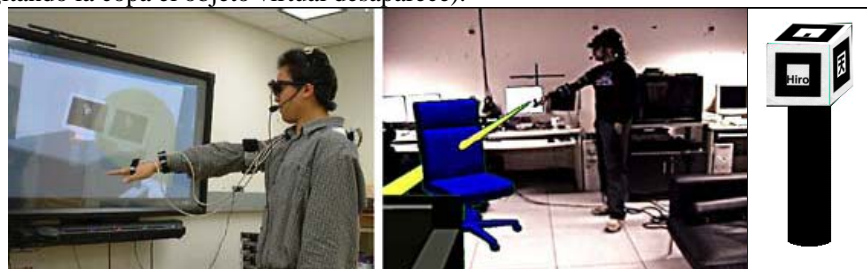
Otra forma de interacción basada en movimiento corporal es la que realiza detección y seguimiento de la posición, movimiento, y orientación de la cabeza. Thomas B. et al. evalúan en [50] tres técnicas de interacción para realizar anotaciones en entornos de realidad aumentada. Entre ellas, el movimiento de cabeza es utilizado para desplazar un cursor y rodear una figura, generando geometría virtual alrededor de ella. La interacción mediante el movimiento de cabeza también se implementa en [53], donde se utiliza para moverse entre distintos elementos de un menú, y para hacer

zoom in y out de cada elemento. En [24] se utiliza la dirección de la cabeza como parte de un sistema multimodal de interacción para sistemas de realidad virtual y aumentada.

Piekarski W. et al. [41] desarrollan un conjunto de técnicas de interacción que capturan la geometría de los modelos 3D usando simplemente la posición del cuerpo del usuario y la orientación de su cabeza, sin el uso de las manos.

Existen sistemas de seguimiento de ojos que han sido utilizados como técnica de interacción en sistemas de realidad aumentada. El sistema de videoconferencia [3] mencionado anteriormente implementado por Barakonyi I. et al. también acepta como entrada el movimiento de los ojos.

Dispositivos de bajo coste han sido utilizados junto con algún sistema de tracking para la detección de gestos. En [10] utilizan un dispositivo de bajo coste al que se le añade un sistema de tracking para realizar dos tipos de gestos: un clic, y una rotación. Kato H. et al. muestran en [26], un sistema de planificación de ciudades basado en realidad aumentada usando marcadores como interfaces tangibles. Se trata de una copa puesta boca abajo y en la parte posterior se coloca un marcador. Implementan cuatro gestos: coger (cubrir el objeto virtual hasta que quede dentro de la copa), poner (ponerlo de nuevo en la mesa), mover (mover la copa con el objeto dentro) y borrar (agitando la copa el objeto virtual desaparece).



**Fig. 2.** A la izquierda y en el centro: Técnica descrita en [24]. A la derecha: Paleta con cubo de marcadores mostrada en [13].

## 4 Interacción basada en dispositivos de bajo coste

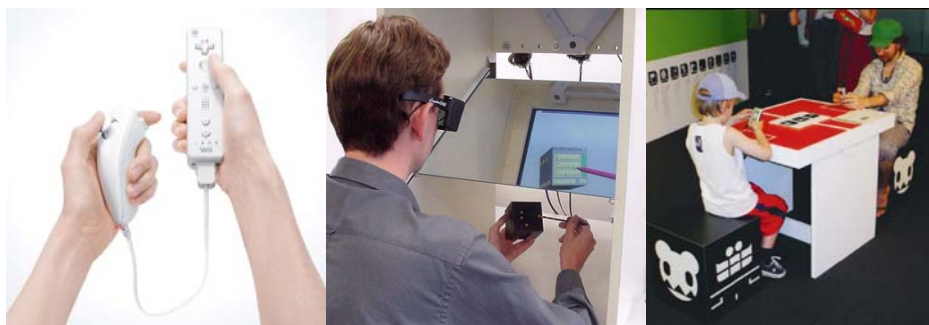
Diversos sistemas de realidad aumentada hacen uso de dispositivos fácilmente accesibles en el mercado, a los que incorporan sistemas de tracking, y los utilizan como dispositivos de interacción.

Por ejemplo, en [35] se demuestra que las interacciones con interfaces 2D son posibles dentro de un entorno de realidad aumentada utilizando dispositivos de bajo coste a los que se incorpora un sistema de posicionamiento. El sistema propuesto utiliza un cubo y un plano cubiertos por un material reflectante de infrarrojos como herramienta de interacción con el sistema (ver Fig. 3). Fischer J. et al. describen en [10] un sistema de interacción que utiliza como herramienta de entrada una pieza de material médico accesible en el mercado. En [44] utilizan como métodos de entrada y de salida una pizarra y una PDA diseñados de tal forma, que el sistema de tracking es capaz de detectar su posición y orientación sobre un mapa usando visión por

computador. Con Laparoscopic Virtual Mirror [38] se demuestra un nuevo paradigma de interacción que se basa en el concepto de espejo virtual para realidad aumentada. Dicho espejo se trata de un dispositivo de medicina comercial y accesible al que se le incorpora un sistema de posicionamiento basado en infrarrojos.

Looser J. et al. presentan en [34] varias técnicas de selección para entornos de realidad aumentada usando como herramienta de interacción el Wiimote de la videoconsola Nintendo Wii (ver Fig. 3). Implementan tres técnicas de selección: Direct-touch (tocar un objeto virtual directamente), Ray-casting (lanzar un rayo desde el dispositivo hasta el objeto), y Lens (técnica de utilización de un dispositivo a modo de lupa virtual).

Los teléfonos móviles comerciales también han sido utilizados como sistemas de interacción en entornos de realidad aumentada. Rohs M. [45] desarrolla técnicas de interacción basadas en marcadores, y las aplica en tres videojuegos. Dichas técnicas se basan en la utilización de la cámara trasera del móvil para detectar marcadores y en la detección de los gestos que el usuario realiza. Hernysson A. et al. [19] desarrollan AR Tennis, el primer ejemplo de juego colaborativo sobre dispositivo móvil basado en realidad aumentada. Dos usuarios se sitúan cara a cara, y frente a ellos se coloca un marcador. Cada usuario golpea la bola virtual con el móvil (ver Fig. 3). En [20] presentan una evaluación de diferentes técnicas de posicionamiento y rotación de objetos virtuales usando teléfonos móviles. Las técnicas presentadas son: entrada con teclado, entrada tangible, gestos 3D usando marcadores y la cámara frontal, y gestos 2D usando seguimiento de la punta del dedo en la cámara frontal.



**Fig. 3.** A la izquierda: Mando Wiimote. En el centro: Técnica de interacción descrita en [35]. A la derecha: AR Tennis [19].

## 5 Interacción multimodal

En [40], Oviatt S. define los sistemas multimodales como aquellos que procesan métodos de entrada naturales combinados (como voz, lápiz, táctil, gestos de mano, guiños, y movimientos corporales) de forma coordinada con la salida multimedia del sistema.

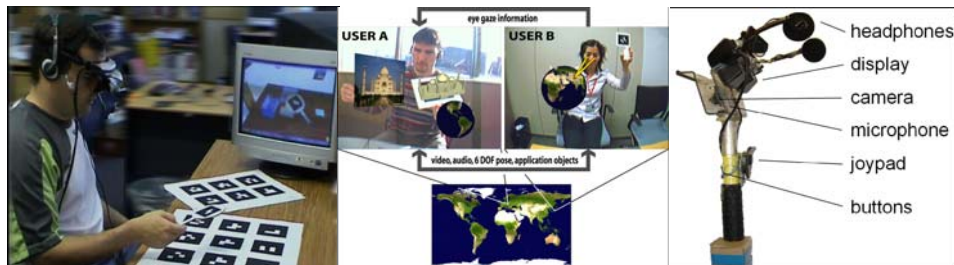
Dentro de los sistemas multimodales existen distintas combinaciones, una de ellas es la que integra gestos, reconocimiento de voz, y detección del movimiento o

dirección de la cabeza. Por ejemplo, Kaiser E. et al. describen en [24] una aproximación a la interacción multimodal en entornos de realidad aumentada y virtual. Integran gestos 3D, reconocimiento de voz, y detección de la dirección de la cabeza. Kölsch M. et al. muestran en [27] cómo integrar sistemas de interacción con gestos, voz, y movimiento de cabeza en una interfaz multimodal.

La integración de gestos y reconocimiento de voz ha sido analizada en [18], donde describen un sistema de interacción basado en detección del dedo de una mano, y reconocimiento de órdenes de voz. En [22], Irawati S. et al. describen una interfaz multimodal que integra reconocimiento de voz y gestos de paleta para interactuar con el sistema. La paleta consta de un soporte vertical con un marcador asociado en la parte superior (ver Fig. 4). Sidharta R. et al. muestran en [47] un sistema multimodal de interacción basado en la integración de voz y gestos con uno o dos cubos de marcadores. En [13] describen un sistema de colaboración con un robot móvil, integrando modos de interacción por gestos con marcadores y reconocimiento de voz.

La integración de gestos, seguimiento del movimiento de ojos, y análisis de la dirección de la cabeza se implementa en [3], donde se presenta un sistema de videoconferencia con interacción multimodal basado en realidad aumentada (ver Fig. 4). El usuario es capaz de interactuar con el sistema usando gestos de las manos con marcadores y movimiento de ojos y cabeza.

También se ha desarrollado un dispositivo hardware específico para la interacción con sistemas de realidad aumentada. AR Mask [12] es un dispositivo hardware específico de input y visualización para este tipo de entornos (ver Fig. 4). Integra distintas posibilidades de entrada al sistema: voz, joystick, y botones. Como salidas ofrece audio y visualización de la cámara incorporada en la parte delantera.



**Fig. 4.** A la izquierda: Aplicación mostrada en [22]. En el centro: Sistema de videoconferencia presentado en [3]. A la derecha: Prototipo AR Mask [12].

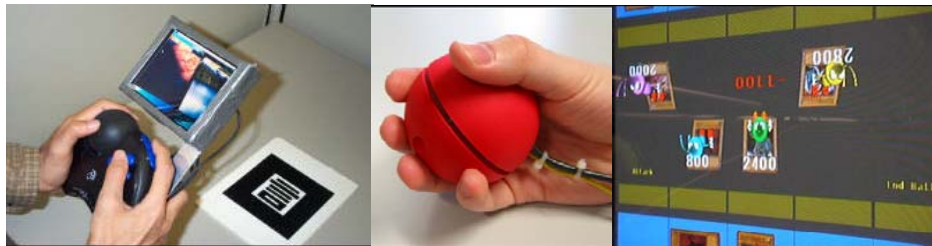
## 6 Otras técnicas de interacción basadas en Realidad Aumentada

Paralelamente a las técnicas clasificadas en los apartados anteriores, se desarrollan también otro tipo de métodos de interacción.

AR Pad [37] es un interfaz para colaboración cara a cara usando realidad aumentada. Es un sistema que consta de un joystick, un sistema de visualización, y un marcador sobre el que se renderizan modelos virtuales (ver Fig. 5). En [46], Schmalstieg et al. discuten las posibilidades de la realidad aumentada como interfaz



de usuario ubicua al mundo real. Explican un sistema de interacción usando el touchpad y la pantalla táctil de un ultraportátil, así como el dispositivo iORB (ver Fig. 5), diseñado específicamente para unificar la entrada de comandos y espacial para sistemas de realidad aumentada móvil. Como se ha mencionado anteriormente, en [50] presentan un estudio de tres técnicas de interacción para selección y anotación en entornos de realidad aumentada. Dos técnicas presentadas se basan en el uso de un ratón convencional, así como de un ratón con giroscopio. Güven et al. presentan en [14] un conjunto de técnicas de interacción para authoring en realidad aumentada usando un tablet PC. La herramienta de interacción es el lápiz del tablet. Describen tres técnicas de inserción de contenidos virtuales en una escena real, bien modelada previamente, o bien sin disponer de un modelo previo. ART [28] es un prototipo que emplea tecnología de realidad aumentada para ofrecer una mesa virtual situada en horizontal para jugar a un juego de cartas. El sistema emplea una televisión, cartas, y la entrada la realiza detectando las cartas y la mano del usuario situados sobre una zona predefinida de la pantalla (Fig. 5). Attention Funnel [6] es una técnica de interfaz basada en realidad aumentada que guía de forma interactiva la atención de un usuario hacia un objeto, persona, o elemento de la escena real, mediante el uso de un cursor 3D. Liarokapis F. et al. presentan en [32] un estudio de los problemas más significativos a la hora de diseñar interfaces de realidad mixta. Muestran una aplicación de un ratón USB con 6DOF en un entorno de realidad aumentada para la difusión del patrimonio histórico.



**Fig. 5.** A la izquierda: AR Pad [37]. En el centro: Dispositivo iORB descrito en [46]. A la derecha: Augmented Reality Table [28].

## 7 Conclusiones

Se presenta una revisión del estado del arte en técnicas de interacción para sistemas de realidad aumentada. Se describen distintas técnicas de interacción existentes, así como ejemplos de aplicación final de cada una.

Se han realizado diferentes trabajos sobre técnicas de interacción muy relacionados entre sí. Este documento realiza una clasificación de las mismas, teniendo en cuenta el elemento principal de interacción en cada una de ellas: interfaces tangibles asociadas a objetos reales, interacción basada en el movimiento corporal y la utilización de dispositivos de bajo coste para la interacción. También se tienen en cuenta aquellos sistemas que combinan varias técnicas de interacción (sistemas multimodales). El

estudio se ha realizado primeramente teniendo en cuenta el elemento principal de interacción de cada técnica, y en segundo lugar por orden cronológico.

A pesar de que existen numerosos estudios en los que se usan los marcadores como elementos de interacción, se puede observar tras la realización de este estudio la tendencia creciente a no usar marcadores, o a integrarlos en sistemas de interacción multimodal. La interacción con gestos, con o sin marcadores, sobre todo de la mano del reconocimiento de voz, es una de las tendencias más seguidas. Los dispositivos de bajo coste como controladores de videoconsolas, teléfonos móviles comerciales, etc. también están siendo objeto de profundos estudios.

## 8 Agradecimientos

La información presentada en este artículo se basa en el trabajo desarrollado en un proyecto parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. El proyecto se denomina PATRAC y su número de expediente es PSE-380000-2007-4. Se trata de un proyecto singular y estratégico, uno de cuyos objetivos es el desarrollo de nuevos sistemas innovadores para la accesibilidad al Patrimonio utilizando nuevas tecnologías. Este proyecto es el resultado de la colaboración entre varias empresas, Centros Tecnológicos y Universidades. A los autores les gustaría agradecer el apoyo recibido por Jose Luis Izgara.

## 9 Referencias

- [1] Elaine Parra Affonso and Antonio Carlos Sementille. Support on the remote interaction for augmented reality system. In *ICAT*, pages 190–196. IEEE Computer Society, 2007.
- [2] Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6):34–47, 2001.
- [3] I. Barakonyi, H. Prendinger, D. Schmalstieg, and M. Ishizuka. Cascading hand and eye movement for augmented reality videoconferencing. *3dvi*, 0, 2007.
- [4] Mark Billinghurst, Raphael Grasset, and Julian Looser. Designing augmented reality interfaces. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 39(1):17–22, 2005.
- [5] Mark Billinghurst, Hirkazu Kato, and Ivan Poupyrev. The magicbook: Moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 21(3):6–8, 2001.
- [6] Frank Biocca, Arthur Tang, Charles Owen, and Fan Xiao. Attention funnel: omnidirectional 3d cursor for mobile augmented reality platforms. In *CHI '06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, pages 1115–1122, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [7] Leonardo Bonanni, Chia-Hsun Lee, and Ted Selker. Attention-based design of augmented reality interfaces. In *CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1228–1231, New York, NY, USA, 2005. ACM.

- [8] Volkert Buchmann, Stephen Violich, Mark Billinghurst, and Andy Cockburn. Fingartips: gesture based direct manipulation in augmented reality. In *GRAPHITE '04: Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*, pages 212–221, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [9] Youngju Choi and Yongduek Seo. The user interface of button type for stereo video-see-through device. In *5th International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, July 2007.
- [10] Strafer W Fischer J, Bartz D. Intuitive and lightweight user interaction for medical augmented reality. In *Proceedings of vision, modeling, and visualization*, pages 375–82, 2005.
- [11] Oppermann L. Geiger, C. and Reimann. 3d-registered interaction-surfaces in augmented reality space. In *Proceedings CD of 2nd IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, 2003.
- [12] Raphael Grasset, Julian Looser, and Mark Billinghurst. A step towards a multimodal ar interface: A new handheld device for 3d interaction. In *ISMAR '05: Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 206–207, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [13] Chen X.Q. Billinghurst M. Chase G Green, S. Collaborating with a mobile robot: An augmented reality multimodal interface. In *17th IFAC World Congress*, pages 6–11, July 2007.
- [14] Sinem Güven, Steven Feiner, and Ohan Oda. Mobile augmented reality interaction techniques for authoring situated media on-site. In *ISMAR*, pages 235–236. IEEE, 2006.
- [15] Taejin Ha and Woontack Woo. Bare hand interface for interaction in the video see-through hmd based wearable ar environment. In *ICEC*, pages 354–357, 2006.
- [16] Michael Haller, Mark Billinghurst, and Bruce H. Thomas. *Emerging Technologies of Augmented Reality*. IGI Publishing, Hershey, PA, USA, 2006.
- [17] Jang-woon Kim Han-byul Jang and Chil woo Lee. Augmented reality cooking system using tabletop display interface. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, July 2007.
- [18] Gunther Heidemann, Ingo Bax, and Holger Bekel. Multimodal interaction in an augmented reality scenario. In *ICMI '04: Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, pages 53–60, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [19] Anders Henrysson, Mark Billinghurst, and Mark Ollila. Ar tennis. In *SIGGRAPH '06: ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*, page 13, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [20] Anders Henrysson, Joe Marshall, and Mark Billinghurst. Experiments in 3d interaction for mobile phone ar. In *GRAPHITE '07: Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia*, pages 187–194, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [21] Eiichi Hosoya, Miki Kitabata, Hidenori Sato, Ikuo Harada, Hisao Nojima, Fumiharu Morisawa, Shinichiro Mutoh, and Akira Onozawa. A mirror metaphor interaction system: Touching remote real objects in an augmented reality

- environment. In *ISMAR '03: Proceedings of the The 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, page 350, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [22] Sylvia Irawati, Scott Green, Mark Billinghurst, Andreas Dünser, and Heedong Ko. "move the couch where?" : developing an augmented reality multimodal interface. In *ISMAR*, pages 183–186. IEEE, 2006.
- [23] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *CHI '97: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 234–241, ew York, NY, USA, 1997. ACM.
- [24] Ed Kaiser, Alex Olwal, David McGee, Hrvoje Benko, Andrea Corradini, Xiaoguang Li, Phil Cohen, and Steven Feiner. Mutual disambiguation of 3d multimodal interaction in augmented and virtual reality. In *ICMI '03: Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces*, pages 12–19, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [25] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana. Virtual object manipulation on a table-top ar environment. *isar*, 00:111, 2000.
- [26] Hirokazu Kato, Keihachiro Tachibana, Masaaki Tanabe, Takeaki Nakajima, and Yumiko Fukuda. A city-planning system based on augmented reality with a tangible interface. In *ISMAR '03: Proceedings of the The 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, page 340, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [27] Mathias Koelsch, Ryan Bane, Tobias Hoellerer, and Matthew Turk. Multimodal interaction with a wearable augmented reality system. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 26(3):62–71, 2006.
- [28] Albert H. T. Lam, Kevin C. H. Chow, Edward H. H. Yau, and Michael R. Lyu. Art: augmented reality table for interactive trading card game. In *VRCA '06: Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications*, pages 357–360, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [29] Gun A. Lee, Mark Billinghurst, and Gerard Jounghyun Kim. Occlusion based interaction methods for tangible augmented reality environments. In *VRCAI '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*, pages 419–426, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [30] T. Lee and T. Höllerer. Handy ar: Markerless inspection of augmented reality objects using fingertip tracking. In *IEEE International Symposium on Wearable Computers*, October 2007.
- [31] W. Lee and Woo. Tarboard: Tangible augmented reality system for table-top game environment. In *In 2nd International Workshop on Pervasive Gaming Applications*, 2005.
- [32] Fotis Liarokapis and Robert M. Newman. Design experiences of multimodal mixed reality interfaces. In *SIGDOC '07: Proceedings of the 25th annual ACM international conference on Design of communication*, pages 34–41, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [33] Julian Looser, Mark Billinghurst, and Andy Cockburn. Through the looking glass: the use of lenses as an interface tool for augmented reality interfaces. In *GRAPHITE '04: Proceedings of the 2nd international conference on Computer*

*graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*, pages 204–211, New York, NY, USA, 2004. ACM.

[34] Julian Looser, Mark Billinghurst, Raphael Grasset, and Andy Cockburn. An evaluation of virtual lenses for object selection in augmented reality. In *GRAPHITE '07: Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia*, pages 203–210, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[35] Jean-Bernard Martens, Wen Qi, Dima Aliakseyeu, Arjan J. F. Kok, and Robert van Liere. Experiencing 3d interactions in virtual reality and augmented reality. In *EUSAI '04: Proceedings of the 2nd European Union symposium on Ambient intelligence*, pages 25–28, New York, NY, USA, 2004. ACM.

[36] Erick Mendez, Denis Kalkofen, and Dieter Schmalstieg. Interactive context-driven visualization tools for augmented reality. In *ISMAR*, pages 209–218, 2006.

[37] D. Mogilev, K. Kiyokawa, M. Billinghurst, and J. Pair. Ar pad: an interface for face-to-face ar collaboration. In *CHI '02: CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 654–655, New York, NY, USA, 2002. ACM.

[38] M. Feuerstein N. Navab and C. Bichlmeier. Laparoscopic virtual mirror: New interaction paradigm for monitor based augmented reality. In *Virtual Reality Conf*, page 43–50. IEEE Press, 2007.

[39] Feiner S Olwal A. The flexible pointer-an interaction technique for selection in augmented and virtual reality. In *Conference supplement of ACM symposium on user interface software and technology*, pages 81–82, 2003.

[40] Sharon Oviatt. Ten myths of multimodal interaction. *Commun. ACM*, 42(11):74–81, 1999.

[41] Wayne Piekarski and Bruce H. Thomas. Augmented reality user interfaces and techniques for outdoor modelling. In *I3D '03: Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 225–226, New York, NY, USA, 2003. ACM.

[42] Ivan Poupyrev, Desney S. Tan, Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, Holger Regenbrecht, and Nobuji Tetsutani. Developing a generic augmented-reality interface. *Computer*, 35(3):44–50, 2002.

[43] Holger T. Regenbrecht and Michael T. Wagner. Interaction in a collaborative augmented reality environment. In *CHI '02: CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 504–505, New York, NY, USA, 2002. ACM.

[44] Gerhard Reitmayr, Ethan Eade, and Tom Drummond. Localisation and interaction for augmented maps. In *ISMAR '05: Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 120–129, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.

[45] Michael Rohs. Marker-based embodied interaction for handheld augmented reality games. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 4(5), March 2006. urn:nbn:de:0009-6-7939, ISSN 1860-2037.

[46] D. Schmalstieg and G. Reitmayr. The world as a user interface: augmented reality for ubiquitous computing. In *Proc. Central European Multimedia and Virtual Reality Conf.*, 2005.

[47] Ronald Sidharta, James Oliver, and Adrian Sannier. Augmented reality tangible interface for distributed design review. In *CGIV '06: Proceedings of the*

*International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation*, pages 464–470, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

[48] Aaron Stafford, Wayne Piekarski, and Bruce H. Thomas. Implementation of god-like interaction techniques for supporting collaboration between outdoor ar and indoor tabletop users. In *ISMAR*, pages 165–172. IEEE, 2006.

[49] Zsolt Szalavari and Michael Gervautz. The personal interaction panel – a two-handed interface for augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 16(3):335–346, 1999.

[50] Bruce H. Thomas. Evaluation of three input techniques for selection and annotation of physical objects through an augmented reality view. In *ISMAR*, pages 33–36, 2006.

[51] Stephen Voidsa, Mark Podlaseck, Rick Kjeldsen, and Claudio Pinhanez. A study on the manipulation of 2d objects in a projector/camera-based augmented reality environment. In *CHI '05: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 611–620, New York, NY, USA, 2005. ACM.

[52] Manuela Waldner, Jorg Hauber, Jurgan Zauner, Michael Haller, and Mark Billingham. Tangible tiles: design and evaluation of a tangible user interface in a collaborative tabletop setup. In *OZCHI '06: Proceedings of the 20th conference of the computer-human interaction special interest group (CHISIG) of Australia on Computer-human interaction: design: activities, artefacts and environments*, pages 151–158, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[53] Sean White, Steven Feiner, and Jason Kopylec. Virtual vouchers: Prototyping a mobile augmented reality user interface for botanical species identification. In *3DUI '06: Proceedings of the 3D User Interfaces*, pages 119–126, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

[54] Zhiying Zhou, Adrian David Cheok, JiunHorng Pan, and Yu Li. Magic story cube: an interactive tangible interface for storytelling. In *ACE '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pages 364–365, New York, NY, USA, 2004. ACM.