

Realidad Virtual y Realidad Aumentada

Javier Luque Ordóñez



Revista Digital de ACTA

2020

Publicación patrocinada por



ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.

Solicite su adhesión en acta@acta.es

Realidad Virtual y Realidad Aumentada

© 2020, Javier Luque Ordóñez

© 2020, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.
Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre está evolucionando la forma de comunicarse entre sí y con su entorno. Gracias a los avances tecnológicos, podemos ahora 'construir' diferentes realidades, que aportan una percepción enriquecida y particular del entorno y presentan un sinnúmero de campos de aplicación.

Se presentan aquí los conceptos de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Realidad Mixta, sus aplicaciones y sus tecnologías asociadas, realizando una panorámica de su pasado, presente y futuro.

CONCEPTOS PRINCIPALES

REALIDAD VIRTUAL

De acuerdo al Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, la realidad virtual se define como:

1. f. Inform. Representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real.

Así, la Realidad Virtual (en adelante RV, o en su acepción anglosajona, *Virtual Reality*, VR), a veces también denominada 'Realidad Artificial' o 'Ciberespacio', es por tanto un entorno de escenas u objetos de apariencia real, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Es una realidad digital, simulada, de tal manera que las aplicaciones de realidad virtual sumergen al usuario en un entorno artificial, generado por ordenador, que simula la realidad mediante el empleo de dispositivos interactivos, que envían y reciben información, mediante el empleo de sensores y actuadores.

RV necesita de soportes tecnológicos que puedan aislar al usuario completamente del mundo real, creando una sensación total de inmersión. Permite simular una experiencia sensorial completa dentro de un ambiente artificial. Estos dispositivos interactivos, como se verá más adelante, habitualmente son los denominados gafas o cascos de realidad virtual (HMD, *Head Mounted Display*), si bien pueden existir otros como auriculares, guantes o trajes especiales, que permiten la percepción de diferentes estímulos sensoriales (vista, oído y, en menor medida, tacto; aún sin apenas desarrollar olfato y gusto).

No hay una definición universal de RV, puede decirse que es una simulación de la realidad mediante elementos multimedia que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en ella, pudiendo esta simulación replicar un mundo real o imaginario.

Más genéricamente, la RV puede ser de dos tipos: inmersiva y no inmersiva. La no inmersiva emplea también un ordenador, pero sin existir la necesidad de dispositivos interactivos adicionales. De mucho menor coste que la variante inmersiva, este enfoque es similar a una navegación en entornos 3D usando un ordenador, manipulando el entorno únicamente con teclado y ratón o periféricos no inmersivos. El estándar VRML permite la creación de mundos virtuales no inmersivos mediante modelado tridimensional, asignando comportamiento y animaciones a objetos en el entorno.

La RV no inmersiva, también denominado RV de escritorio, permite por tanto la interacción con un mundo virtual pero sin sentirse dentro del mismo. Es el caso por ejemplo de videojuegos, películas 3D, o incluso vídeos 360°.

El caso de los vídeos 360° genera cierto debate, puesto que en un vídeo de este tipo se captura un escenario real (no virtual), aunque realizado con una cámara omnidireccional. Un vídeo 360° es un vídeo en el que se graba en todas las direcciones, de manera que al reproducirlos se puede girar la cámara en cualquier dirección. Se construye a partir de contenido real o híbrido (elementos artísticos).

Asimismo, se habla también de RV pasiva y RV interactiva. En la primera, se produce una visualización del mundo virtual sin interactuar con él. En la segunda, existe un control sobre los elementos virtuales.

La RV puede implementarse según diferentes métodos:

- Empleo de simuladores.
- Uso de avatares (personajes en el ámbito digital).
- Proyección de imágenes reales (diseño de gráficos por ordenador).
- Modelado 3D por ordenador.
- Inmersión en entornos virtuales (interfaces cerebro-máquina).

La RV no modifica la realidad, sino que crea una realidad completamente nueva. A través de la programación informática, se generan mundos y entornos virtuales (simulaciones) que suponen una representación alternativa de la realidad, y con la que se puede interactuar. La RV es posible gracias a la aplicación de técnicas estereoscópicas, que permite el efecto de tridimensionalidad integrando las imágenes obtenidas por cada ojo por separado.

REALIDAD AUMENTADA

La realidad aumentada (en adelante RA, o en su acepción anglosajona, *Augmented Reality*, AR) designa a una representación de la realidad, visualizada a través de un dispositivo tecnológico, con información digital añadida por éste. Se combinan así elementos físicos tangibles con elementos virtuales, creándose así una realidad aumentada (enriquecida) en tiempo real.

Complementa por tanto la percepción del mundo real con capas de información digital (imágenes fijas, sonidos, vídeos, datos, modelos 3D, etc.), que se superponen a la realidad (a la percepción del mundo físico) en tiempo real.

La RV, como se ha visto, construye un mundo nuevo, completamente virtual. Por su parte, en RA, el mundo real se convierte en el soporte. Se pueden ver elementos no presentes en el mundo real, e interactuar con los mismos.

RA implica así combinación de mundos real y virtual, interacción en tiempo real, y modelado de objetos 3D en entornos reales. RA altera (complementa) la realidad, RV la reemplaza.

Para poder proyectar imágenes en RA es necesario que existan marcadores, también denominados disparadores o activadores, que son imágenes que contienen códigos o símbolos que permiten a los dispositivos móviles interpretar dichas señales, para proyectar una imagen virtual sobre un objeto o superficie.

REALIDAD MIXTA

La realidad mixta (en adelante RM, o en su acepción anglosajona, *Mixed Reality*, MR), también denominada realidad mezclada o realidad híbrida, es una combinación entre RV y RA, que permite crear nuevos espacios en los que interactúan tanto objetos y/o personas reales como virtuales. Mediante la RM, se traslada el mundo real al mundo virtual, generando un modelo 3D de la realidad y, sobre éste, superponiendo información virtual, ligando las dos realidades.

En RM se produce por tanto una fusión del mundo físico con el mundo digital. Se crean y modifican objetos virtuales interactuando con el mundo real. Se emplean cascos o gafas, pero que al contrario que en el caso de RV, no aíslan del mundo real, sino que permiten percibir simultáneamente ambos entornos. Se incorporan objetos virtuales en un mundo real, y objetos reales en un mundo virtual.

En RM, la inserción de elementos reales en un entorno virtual se consigue registrando en tiempo real el objeto o persona física real, a través de un interfaz computerizado. Por su parte, la inserción de elementos virtuales en un entorno real se realiza mediante marcadores, de forma similar a la RA.

RM se concibe además con el objetivo de hacer indistinguibles las fronteras entre el usuario, su entorno, y la información que intercambian. Se perciben elementos virtuales completamente contextualizados en el entorno real, gracias a una apariencia y comportamiento análogos al de cualquier elemento físico.

La realidad mixta no solo permite la interacción del usuario con el entorno virtual, sino también que objetos físicos del mundo real sirvan como elementos de interacción con el entorno virtual.

COMPARATIVA ENTRE RV, RA Y RM

Si bien RV, RA y RM son tecnologías relacionadas, presentan sus claras diferencias, que pasan a detallarse a continuación:

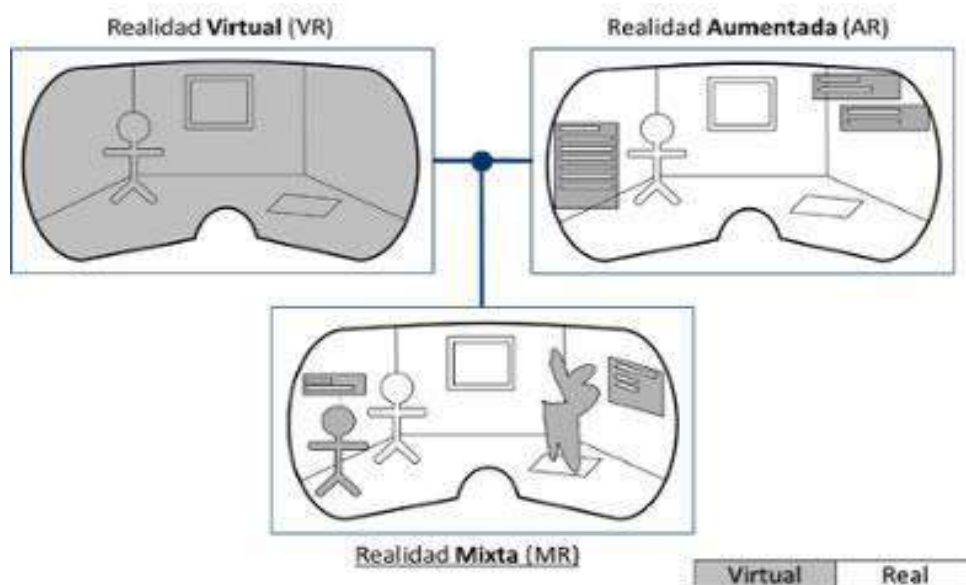


Figura 1. RV, RA y RM. Entorno y objetos reales y virtuales

- En RA y RM se modifica la realidad, mezclándose lo virtual y lo real. En RV se crea una nueva, completamente virtual.
- En RV y RM son necesarios dispositivos HW dedicados (principalmente cascos HMD). En RA, basta con una app.
- En RV hay inmersión total en el mundo virtual. En RA y RM, inmersión parcial.
- RA y RM son usados para fomentar la venta de productos y servicios. RV es un producto en sí mismo.
- RA y RV no son incompatibles. RM tiene aspectos de ambas.
- RV no tiene ninguna contextualización. RA dispone de contextualización limitada (contenidos digitales superpuestos en un entorno real). RM contextualización más completa.
- RV consume más potencia eléctrica: se necesita mayor potencia de procesamiento para generar un mundo completamente virtual.
- RM se considera una mejora de RA, en el sentido de que superpone objetos virtuales al entorno real como RA, pero además éstos interactúan con el entorno físico en tiempo real).
- En RV no existen elementos reales. En RM, los elementos virtuales se diferencian claramente de los reales. En RA, se producen elementos virtuales realistas (hologramas), muy similares en aspecto y comportamiento a los elementos reales.
- Tanto RV, como RA y RM se ven beneficiadas por la aparición de 5G e IoT, en tanto que permiten un entorno hiperconectado, con alto ancho de banda y baja latencia.



	RA	RV	RM	IC
Criterio				
Interacción del usuario con la realidad natural	Alta El mundo real es el entorno con el que se interactúa a partir de la información digital que se agrega en él.	Baja El usuario se aísla de la realidad para sumergirse a través de un dispositivo en un universo sensorial completamente digital.	Media El mundo real sirve de escenario donde se proyecta la realidad virtual en la que el usuario está inmerso a través de un dispositivo.	Baja El usuario es consumidor de la información o desempeño que efectúan las cosas.
Nivel de inmersión en una experiencia digital	Media Depende de la densidad digital que se agrega a la realidad.	Alta Supone una inmersión completa en una realidad paralela completamente digitalizada.	Alta El mundo real es reemplazado por una experiencia sensorial inmersa en un mundo virtual.	Baja El usuario se desenvuelve en un entorno real, aunque puede conectarse con los objetos en la nube.
Dispositivo emblemático	Apps en Smartphones equipados con RA (ej. Pokémon Go)	Cascos sensoriales (ej. Oculus Rift)	Lentes que proyectan información digital sobre un entorno real (ej. HoloLens)	Refrigerador con capacidad de ofrecer información sobre caducidad de los alimentos o proponer recetas
Empresa representativa en el desarrollo de la tecnología	Google	Facebook	Microsoft	Cisco
Fase de desarrollo	En plena exploración expansiva	En reajuste, tras la burbuja inicial	En plena revolución experimental	Boom comercial inmediato

Figura 2. Comparativas entre RV, RA y RM

CONTINUO DE VIRTUALIDAD-REALIDAD

En 1994, Paul Milgram y Fumio Kishimo definieron, en su artículo "Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum" una "escala de realidad". El 'Continuo de virtualidad' (*Virtuality continuum*), también llamado 'Continuo de virtualidad-realidad' o 'Continuo de realidad', es una escala continua que abarca desde el mundo completamente real hasta el mundo completamente virtual. Incluyendo todas las posibles variaciones y composiciones de entornos y objetos reales y virtuales.

Definen asimismo los conceptos de 'Realidad Aumentada' como una realidad enriquecida con elementos virtuales (lo virtual complementa a lo real), y de 'Virtualidad Aumentada' como un mundo virtual enriquecido con elementos reales (lo real complementa a lo virtual). Igualmente, definen la 'Realidad Mixta' como "cualquier espacio entre los extremos del continuo de la virtualidad".

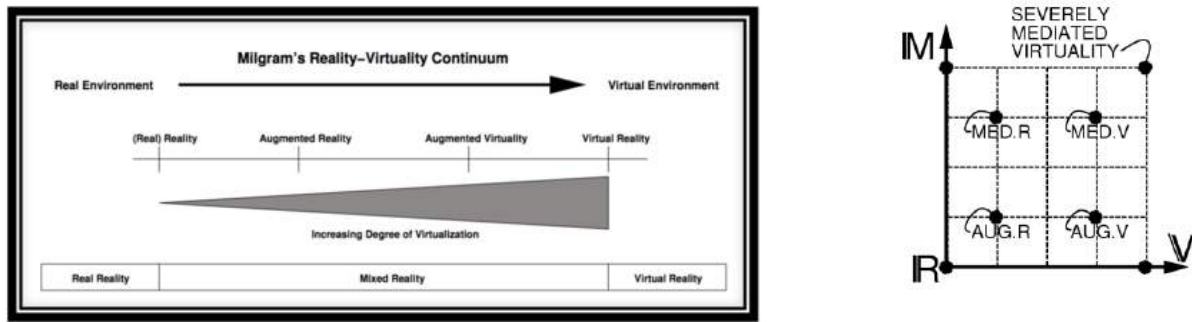


Figura 3. Escala unidimensional y bidimensional del Continuo de virtualidad-realidad

Esta escala unidimensional del "grado de virtualización de la realidad" ha dado paso a una escala bidimensional, cuyo segundo eje es la medialidad (*mediality*), entendida como el "grado de modificación de la realidad". Se crea así una escala continua bidimensional, en la que se añaden los conceptos de 'Mediated Reality' y 'Mediated Virtuality'. El origen de esta escala bidimensional es la realidad pura no modificada.

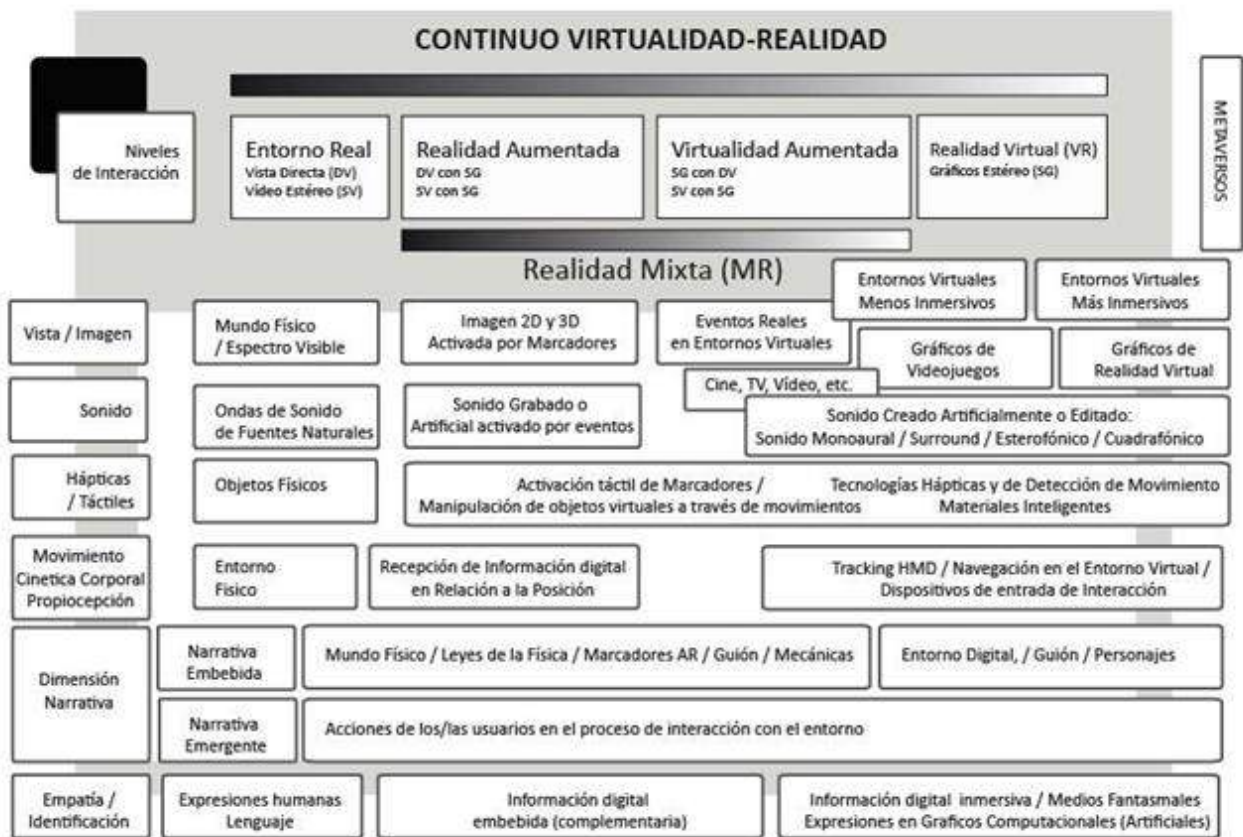


Figura 4. Características del Continuo de virtualidad-realidad

OTROS CONCEPTOS RELACIONADOS

El concepto de Realidad extendida (RE, o en su terminología anglosajona, *eXtended Reality*, también *Cross Reality*, XR): hace referencia a un elemento paraguas, que agrupa la combinación de todos los entornos reales y virtuales, dispositivos empleados, interacciones hombre-máquina, interfaces, aplicaciones e infraestructuras. Incluye RA, VA y RV, así como las áreas superpuestas entre ellas. Es un superconjunto de todo lo que abarca el continuo de virtualidad-realidad.

Asimismo, en ocasiones se usa el término *X-Reality* para referirse a cualquiera de las variantes definidas de realidad, actuando en este caso la X como incógnita para designar cualquiera de las opciones.

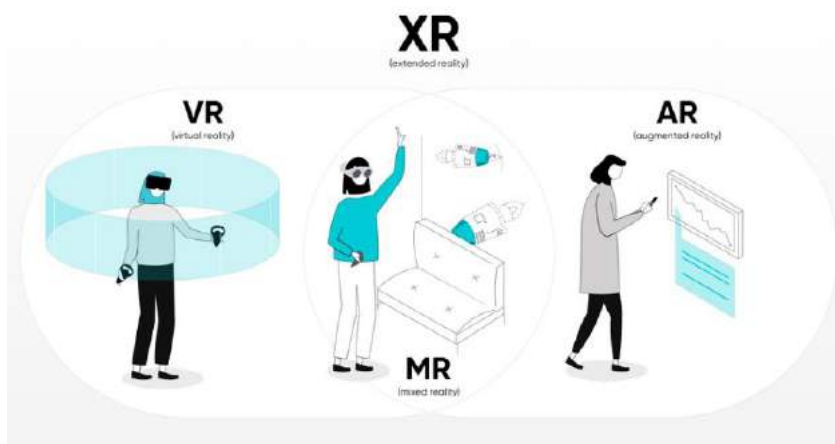


Figura 5. Realidad Extendida

Tres conceptos directamente relacionados con las diferentes variantes de realidad son presencia, inmersión e hiperrealidad.

La primera hace referencia al hecho o condición de estar presente. En entornos virtuales, el concepto de presencia hace referencia al hecho de sentirse estar en un lugar o entorno, incluso cuando uno se encuentre físicamente en otro. Es la denominada 'metáfora del transporte' (se percibe estar en un lugar distinto).

La presencia es por tanto una ilusión perceptual de no mediación. Este concepto tiene asimismo un fuerte componente psicológico, el sentido de presencia, que puede derivar en una evasión de la realidad, cuando se pierde la consciencia de cuál es el mundo real y cuál no.

Por su parte, el concepto de inmersión es mucho más concreto. Procedente del entorno cinematográfico, este concepto hace referencia a la capacidad (cuantificable) de un sistema para mostrar un entorno generado artificialmente de manera que se aproxime lo máximo posible a la experiencia real. Una inmersión completa conlleva interacción con el entorno en tiempo real, visión estereoscópica, alta resolución, alta velocidad de trama, y múltiples entradas sensoriales (al menos, visual, auditiva y háptica).

Así pues, la inmersión puede definirse como la introducción por completo en otro mundo, de manera que el usuario se 'olvida' de que está en un mundo artificial e interactúa plenamente con el entorno virtual.

La hiperrealidad, por su parte, se define como la incapacidad de la consciencia de distinguir la realidad de una simulación, especialmente en las culturas postmodernas tecnológicamente avanzadas. Es por tanto una interpretación descompensada de la realidad, creada por cada uno, que se admite como verosímil y llega a sustituir la realidad en la que se basa.

Otros dos conceptos que pueden llevar a conclusión en la terminología utilizada son la realidad simulada, y la realidad alternativa. La primera hace referencia a la hipótesis de que la realidad puede llegar a ser simulada hasta un grado tal que resulte indistinguible de la 'realidad verdadera', del mundo real, de manera que la realidad y su simulación

sean muy similares. Por su parte, la realidad alternativa es un concepto sinónimo al de universo paralelo.

Los diferentes conceptos asociados con la construcción y percepción de la realidad han trascendido al ámbito puramente tecnológico, convirtiéndose ya en una disciplina dentro de la antropología, tal que cambia el comportamiento de la sociedad (por ejemplo, con el avance tecnológico, el concepto online-offline se considera ya obsoleto). En la sociedad actual, y más aún en los próximos años, la distinción entre lo virtual y lo real es cada vez más difusa.

BREVE HISTORIA DE VR Y AR

Si bien parece que las tecnologías de RV, RA y RM son muy recientes, la realidad es que llevan algunas décadas entre nosotros, aunque es ahora cuando están experimentando un auge imparable abarcando múltiples campos de la sociedad. Se presenta a continuación una breve cronología de los hitos más relevantes:

1901: El escritor Frank L. Baum ideó unas gafas electrónicas que superponían datos sobre las personas que visualizaban ("Character marker").

1951: El proyecto Whirlwind de la marina estadounidense y el MIT es el primer simulador, para instrucción de vuelo para pilotos de bombarderos. En 1959, surge una variante de uso civil con tecnología 3D.

1962: Se presenta Sensorama (Morton Heilig), una máquina que muestra imágenes estereoscópicas tridimensionales de gran angular, con sonido estéreo, efectos de viento y aromas, con un asiento móvil.

1968: Ivan Sutherland desarrolla 'la espada de Damocles', casco de realidad virtual con imágenes estereoscópicas.

1974: Myron Krueger presentan Videoplace, un sistema de proyección interactivo que respondía a movimientos y acciones del usuario.

1978: Se desarrolla el Aspen Movie Map, primer mapa interactivo, de la ciudad de Aspen.

1980: Gavan Lintern publica los primeros estudios sobre proyección de información digital en pantallas transparente (*Heads Up Displays*).

1980: Steve Mann presenta el primer ordenador "wearable", un sistema de visión con texto superimpreso.

1981: Dan Reitan realiza las primeras transmisiones meteorológicas de TV con imagen superpuesta.

1982: Jaron Lanier presenta sus Data Glove, los primeros guantes con sensores que reconocen el movimiento.

1984: Se abre en Baltimore el cine Sensorium, un cine 4D con proyección estereoscópica, asientos que vibran y aromas.

1987: Se presentan los primeros cascos de realidad virtual de Nintendo y Sega.

1990: Thomass P. Caudell, investigador en Boeing, acuña por primera vez el término 'Realidad Aumentada', para describir una pantalla donde se mezclan gráficos virtuales con la realidad física, en una aplicación de apoyo al montaje de cableados eléctricos complejos.

1992: Louis Rosenberg presenta Virtual Fixtures, un sistema de RA con brazos robóticos proyectados sobre brazos humanos.

1994: Sega presenta VR-1, un simulador de movimiento con casco virtual.

1994: Se crea KARMA, un banco de pruebas para mantenimiento, reparación y diseño automatizado.

1994: 'Dancing in cyberspace', es la primera producción de teatro de RA, con Julie Martin.

1995: Nintendo presenta su Virtual Boy, y Forte su VFX1, ambos cascos de realidad virtual.

1998: Sportsvision produce la primera aplicación de RA en TV en un evento deportivo en vivo (NFL).

1999: Se publica ARToolkit, un software que captura acciones en el mundo real y las combina con objetos virtuales, permitiendo crear aplicaciones de RA.

2000: ARQuake se convierte en el primer juego al aire libre de RA.

2000: Se pone a la venta Second Live, videojuego de mundos virtuales mediante avatares.

2010: Sale al mercado Microsoft Kinect, para Xbox 360, periférico que interactúa con la consola sin contacto físico del ser humano con ningún controlador.

2012: Google comienza el diseño de la primera versión de las gafas de RA Google Glasses.

2012: Palmer Luckey comienza el desarrollo de los cascos de RV Oculus Rift.

2013: Volkswagen lanza un manual de sus vehículos en RA.

2015: Microsoft lanza su primera versión de HoloLens.

2016: Sony pone a la venta PlayStation VR, y HTC su HMD Vive.

2016: Niantic lanza el videojuego Pokemon Go, un hito en los videojuegos en RA.

2017: Apple lanza ARKit y Google ARCore, kits de desarrollo para aplicaciones de RA.

2019: Microsoft lanza HoloLens 2, con funcionalidades avanzadas de RM.

TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES DE RV, RA Y RM

En general, todas las tecnologías que permiten al usuario interactuar con el entorno disponen de un conjunto de elementos comunes:

- Procesador. Hardware que realiza el procesamiento.
- Aplicación. Software que gestiona todo el proceso.
- Display. Elemento que muestra al usuario el escenario con el que interactúa.
- Sensores. Elementos que obtienen información al sistema.
- Actuadores. Elementos que envían comandos al sistema (periféricos).

Adicionalmente, son necesarios los siguientes elementos con carácter más específico:

- En RA y RM es necesaria una cámara, que obtenga las imágenes del mundo real (no en RV).
- Es necesaria la conexión a Internet para múltiples casuísticas, en particular para obtener información digital pregrabada (por ejemplo la información digital superpuesta a obtener de un servidor remoto una vez identificado el punto de interés).
- Activadores y marcadores. Elementos que indican al SW en RA cuándo y dónde debe superponer una información.

En RV la experiencia es totalmente inmersiva, por lo que el display empleado debe aislar completamente del mundo real. Por ello, son cascos (HMD) cerrados, sin visualización del exterior, y con un display que muestre única e íntegramente el escenario virtual. Estos dispositivos HMD pueden ser:

- Cascos de RV que dependen de la CPU de un ordenador externo (y conectado mediante cable).
- Carcasas para teléfono móvil. En este caso usan la CPU del teléfono y su pantalla.
- Periféricos de consolas de videojuegos. La CPU es la de la consola.

El procesador debe ser de potencia elevada, ya que el computador recibe datos de los sensores, procesa la información y genera la salida para el usuario, todo ello en tiempo real. Se puede disminuir la potencia necesaria descargando datos externos para minorar

la potencia necesaria de cálculo, pero ello implica a su vez un aumento de ancho de banda y un control de baja latencia.

La información mostrada en el display, y las experiencias sensoriales recibidas, varían en función de las señales intercambiadas por los sensores y actuadores con el sistema. En RV es particularmente importante el seguimiento del movimiento y posición de la cabeza. Éste se detecta gracias a acelerómetros, giroscopios y magnetómetros incorporados

en los cascos. Cada fabricante incorpora una técnica propia para determinar la posición de la cabeza (por ejemplo, captando la posición de una serie de diodos LED).

El rastreo de movimiento se extiende a reconocer otro tipo de movimientos, como las manos, también con diferentes tecnologías según el fabricante (sensación táctil, reacción a gestos, vibración de los mandos, etc.), e incluso el movimiento ocular (al detectarse el movimiento de los ojos, pueden emplearse técnicas de enfoque y actuar en consecuencia). El área de rastreo se define como la superficie dentro de la cual los movimientos son registrados por los sensores de posición y seguimiento.

Otros sensores muy empleados en las técnicas de posicionamiento y rastreo son el GPS, las brújulas de estado sólido, y las etiquetas RFID. Igualmente, pueden emplearse también sensores de posición colocados en la habitación, tal que permiten determinar la ubicación del HMD y otros periféricos, evitando por ejemplo que el usuario se choque contra muros reales.

Todas las técnicas de rastreo, seguimiento de movimientos, y recopilación de información de sensores, están orientadas a proporcionar una mayor sensación de realismo en la experiencia multisensorial.

Los dispositivos de tipo HMD (cascos o gafas) pueden ser por tanto sin pantalla incorporada (carcasa para incorporar el teléfono móvil), o con ella (normalmente LCD u OLED, uno o dos displays, con o sin lentes intermedias). El campo de visión para cada ojo de entre habitualmente está entre 110° y 120°. Se requiere un mínimo de 60 tramas por segundo, y latencia inferior a 20 ms para una calidad suficiente.

Ejemplos de HMD con pantalla para VR son: Oculus Rift, PlayStation VR, Hololens, Vive, VivePro, StarVR, FOVE VR, Pimax 4k, Pimax 8k. Ejemplos sin pantalla: Gear VR, Daydream View, Google Cardboard, Zeiss VR One, Durovis, etc.

En RM también se necesita un dispositivo dedicado y cerrado HMD (con procesador interno o externo), si bien en este caso debe disponer de una cámara externa, que capte la imagen del mundo real. Ejemplos de HMD con pantalla y cámara externa para RM son: Microsoft Hololens 2, Meta, o DAQRI, entre otros.

En RA, los dispositivos móviles como teléfonos o tabletas disponen de todo lo necesario para ser empleados para ello: procesador, sensores, SW y pantalla adecuados.

Los controladores/actuadores permiten al usuario interactuar con el entorno virtualizado. Suelen ser mandos con botones para usar con las manos, y que disponen de seguimiento posicional, aunque también existen guantes y trajes. Algunos ejemplos de controladores son Leap Motion, STEM System, PrioVR, GloveOne, PowerClaw, VR Gun, VR System Tracker, etc.












			
HTC Vive Pro Eye	Oculus Quest	Google Cardboard	Valve Index
			
Docoler VR	Recon Jet	Microsoft HoloLens 2	Oculus Go
			
Epson Moverio BT-300	Zeiss VR Plus One	DJI Goggles Racing	Google Glasses

Figura 6. Ejemplos de dispositivos de RV y RA

Ejemplos de gafas para RA son: Google Glasses, Epson Moverio, Magic Leap, NReal, etc.

Los dispositivos de entrada pueden también clasificarse según la función: reconocimiento de voz, reconocimiento gestual, sensores, controladores, etc.

En RA existen diversos tipos y diversas clasificaciones de display, aunque todas ellas incluyen la visualización del mundo real. Según su ubicación respecto del usuario, se clasifican como:

- HMD. Con 6 grados de libertad, y seguimiento del movimiento de cabeza.
- HUD. Display transparente que presenta datos sin que el usuario tenga que apartar la vista.
- Lentillas biónicas. Con procesador y comunicación inalámbrica.
- Dispositivos de mano. Pequeñas pantallas/activadores en la palma de la mano.
- Dispositivos de retina (VRD, *Virtual Retinal Display*), proyección directa en la retina del ojo.
- Dispositivos espaciales (SAR, *Spatial AR*), proyección de imágenes en objetos físicos.



Figura 7. Displays ópticos para RA según distancia entre observador, display y objeto real

Igualmente, en RA, los displays según el método de proyección, se distinguen (Azuma, 1997) entre cerrados (*Closed-view*), que no permiten observar el mundo real; y abiertos (*See-through*), que sí lo permiten. Existen los siguientes tipos:

- Dispositivos ópticos. Utilizan un elemento transparente que permite la visión del mundo real, mientras que sobre él se proyecta la información virtual. Como ejemplo, unas gafas de RA.
- Dispositivo de vídeo. En este sistema, una cámara de vídeo recoge la imagen del mundo real. Se combina con la imagen virtual y se proyecta la imagen mixta al usuario. Por ejemplo, un casco HMD cerrado o un teléfono móvil.
- Sistema basado en monitores: Muy similar al anterior, una cámara recoge la imagen del mundo real y se combina con la imagen virtual. Pero el resultado final, se proyecta sobre una pantalla o monitor. En este sistema, el usuario es más un espectador. Por ejemplo, la utilización de un ordenador portátil.

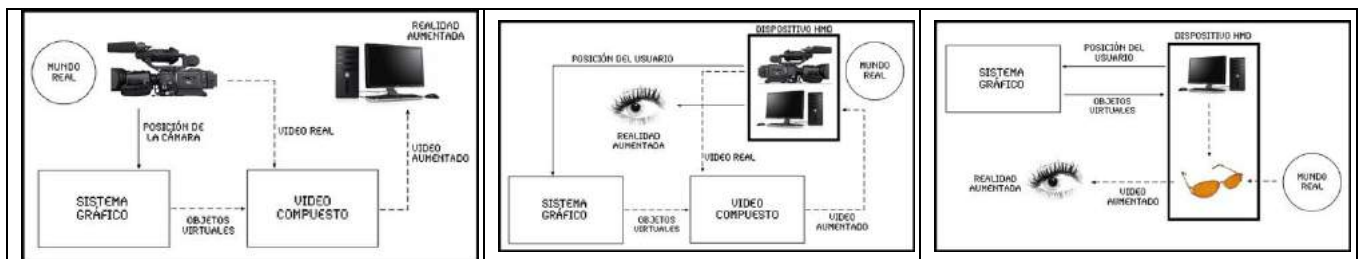


Figura 8. RA en monitor, en casco virtual y en gafas

Una medida clave de los sistemas de AR es la forma en que se integran de manera realista los elementos virtuales con el mundo real. El software debe derivar las coordenadas del mundo real, independiente de la cámara y las imágenes de la cámara. Este proceso se llama registro de imágenes, y utiliza diferentes métodos de visión por ordenador, la mayoría relacionados con el seguimiento de vídeo. Muchos métodos de visión por ordenador de realidad aumentada se heredan de la odometría visual.

Un augograma es una imagen generada por ordenador que se utiliza para crear RA. Augografía es la ciencia y la práctica de hacer augogramas para la RA.

Los marcadores en RA pueden a su vez clasificarse en función de su complejidad:

- Nivel 0. Hiperenlaces (ejemplo, códigos QR).
- Nivel 1. Marcadores. Imágenes en blanco y negro.
- Nivel 2. No hay marcadores. Se usan GPS y brújula de estado sólido.
- Nivel 3. Visión aumentada. Gafas o lentillas biónicas, con experiencia inmersiva y personal.

En RM se utilizan principalmente dos tipos de sistemas para procesar la información:

- IPCM (*Interactive Product Content Management*), para crear catálogos con réplicas 3D proyectadas en la realidad, de productos que previamente solo podían visualizarse mediante imágenes o vídeos.

- SBL (*Simulation Based Learning*), permite proyectar situaciones o tareas creadas virtualmente en un entorno real del usuario.

En cuanto al software, hay mucho y muy variado, para múltiples propósitos. Por destacar sólo algunos:

- RV:
 - Turismo virtual: VR Cities, Sites in VR, Visoplaces.
 - Videojuegos: nativos en VR (Alien Isolation, Elite: Dangerous, EVE Valkyrie, Hardcore VR, etc.), o clásicos adaptados (Quake VR, Doom VR, Half Life 2, Fallout 3, etc.).
 - Foto 360: Google Street View, Facebook 360, Flickr VR, Youvisit, , Panomo, Insta360, etc.
 - Videos 360 (Youtube 360, Cineveo, CineVR, Within, 360 Video Gallery, etc.).
 - Educación: Space Engine, Unimersiv, 7VR Wonders, The Body VR, InMind VR, etc.
 - Utilidades: MINT VR, NVR Player, VR Browser, etc.
- RA/RM:
 - Entornos de desarrollo: Metaverse, ActionBound, Roar, Zapworks, Augmented Class, Aumentaty Author, ARCrowd, LayAR, HP Reveal, Zappar, Blippar, Vuforia, ARToolkit, ATOMIC Web Authoring Tool, Blender, Unity, AR-Media, HP-Reveal, Vuforia, WikiTude, LayAR, Viur, Blippar, Aurasma, Total Inmmersion, ARCore (Google), ARKit (iOS), entre otros. Permiten crar una aplicación personalizada, o utilizar aplicaciones existentes. Las aplicaciones de RA se crean mediante herramientas constructoras de apps, API, y servicios.

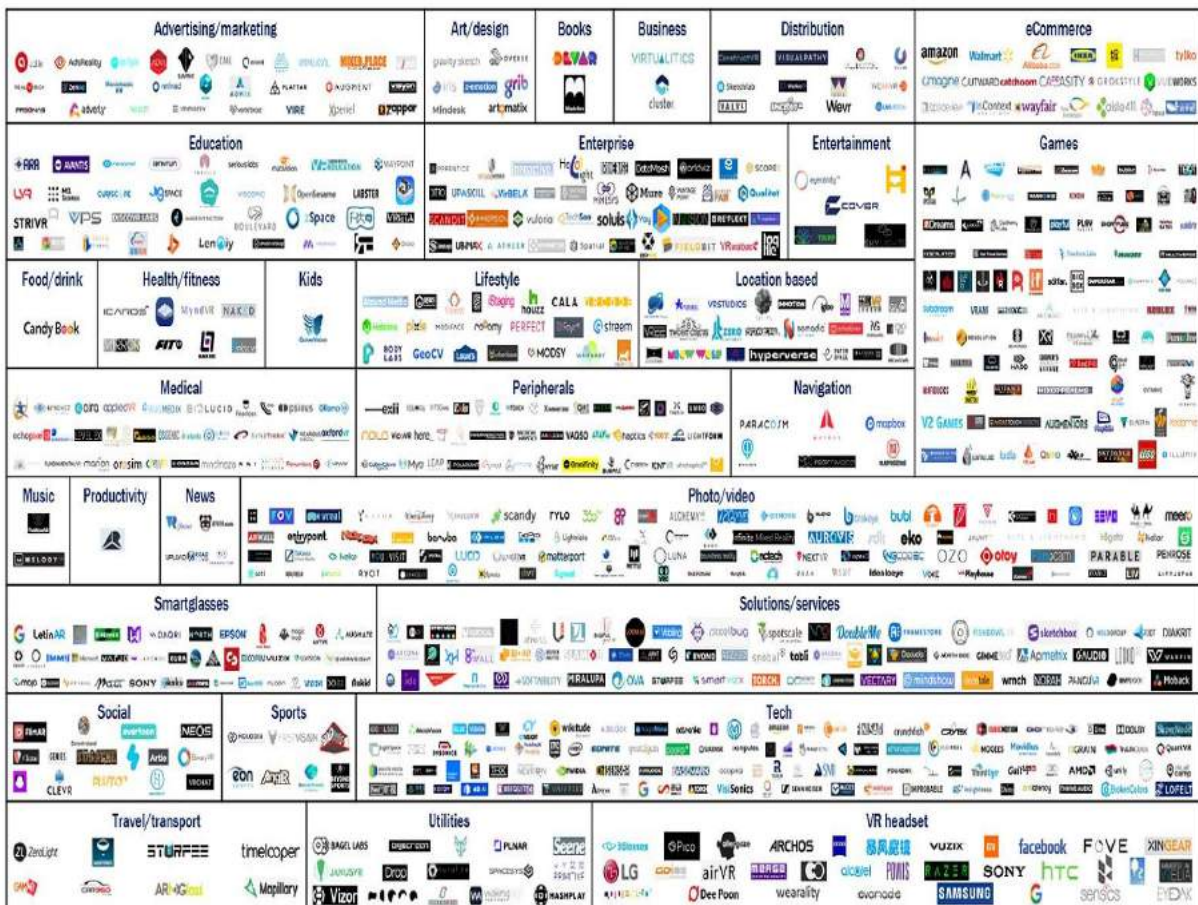


Figura 9. Actores en RV y RA (Fuente: Digicapital)

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE VR, AR Y MR

Las tecnologías de VR, AR y MR presentan unas claras ventajas que les permiten resultar tremendamente útiles en múltiples ámbitos de la sociedad y de la empresa, aunque también presentan una serie de inconvenientes aún pendientes de resolver. Se presentan a continuación los pros y contras principales de todas ellas.

VENTAJAS

- Aprendizaje multisensorial (vista, oído, tacto), mejora cognitiva.
- Aumento de productividad.
- Combinación efectiva de los mundos físico y virtual, contenidos y animaciones 3D de alta calidad en el espacio real.
- Detección temprana de anomalías en los procesos de diseño, prototipado y fabricación.
- Eliminación de límites geográficos y temporales.
- Enriquecimiento de la actividad y del contenido.
- Facilidad de uso.
- Fomento de interacción, comunicación, colaboración, cooperación, negociación y toma de decisiones en entornos geográficamente distribuidos.
- Inmediatez de la información obtenida.
- Interfaces de uso multimodales, con distintas posibilidades de interacción.
- Integración con múltiples tecnologías asentadas y novedosas, como la robótica o la inteligencia artificial.
- Mejora de habilidad y razonamiento espacial.
- Motivación, compromiso, mejora de actitud, satisfacción, autoconfianza.
- Polivalencia de contenidos, entornos y usuarios.
- Potenciación de la accesibilidad y la inclusión social.
- Reducción de costes de laboratorio, pruebas y evaluaciones.
- Reducción o eliminación de riesgos laborales, sin daños propios ni a terceros.
- Sensibilidad y adaptabilidad al entorno, la ubicación y el movimiento del usuario.
- Universalidad de la tecnología.

INCONVENIENTES

- Aparición de cuestiones legales relacionadas con la privacidad del individuo o contenido multimedia con copyright.
- Aparición de náuseas, mareos y fatiga en usuarios, por desajuste entre el sistema vestibular (líquidos y fluidos en cavidades interiores del oído) y sistema visual. Afectación al sentido del equilibrio.
- Aparición de problemas técnicos asociados a los dispositivos empleados.
- Brecha digital por falta de acceso a las tecnologías involucradas.
- Contenidos aún pendientes de evolucionar.
- Dependencia de HW externo específico y costoso.
- Dispositivos necesarios no aptos para usuarios con determinadas patologías.
- Experiencia individual (visores, sensores).
- Falta de estudios sobre efectos a medio y largo plazo de usos continuados de estas tecnologías.
- Formación, habilidad y tiempo necesarios para aprovechar la tecnología.
- Generación de dependencias y distracciones. Evasión de la realidad.

- Implicaciones éticas del uso de la tecnología (neutralidad y valor de la misma). Tecnoética.
- Necesidad de espacio para el movimiento y los sensores.
- Posibles problemas de ergonomía y comodidad en el uso de los dispositivos.
- Potenciales errores de GPS en información geolocalizada y posicionamiento.
- Potenciales errores en sensores y activadores.
- Potenciales problemas de duplicación de imágenes o *judder* (combinación de dos fenómenos: estroboscopia *-strobing*, percepción de múltiples copias de una imagen al mismo tiempo- y emborronamiento de imágenes *-smearing*, desenfoque del movimiento-).
- Potenciales problemas de latencia (retrasos entre la acción realizada por el usuario y su representación en la pantalla).
- Potenciales problemas de persistencia (tiempo en que están los píxeles encendidos en cada trama).
- Reducido campo de visión.
- Tecnología aún nueva y experimental en determinados sectores.
- Tecnologías costosas de implantar en las empresas, dispositivos caros para el usuario final.

APLICACIONES DE VR, AR Y MR

Si bien los casos más conocidos para el gran público son los videojuegos y el entretenimiento en general, existe ya a día de hoy conjunto mucho mayor de usos y aplicaciones para RV, la RA y la RM, experimentando además un continuo crecimiento.

Siendo RV la precursora, y encontrándose RM aún en fase de maduración, es RA la que está experimentando actualmente un mayor auge, debido principalmente a las posibilidades que ofrecen los dispositivos móviles (tabletas, teléfonos), proporcionando información digital complementaria a la imagen real obtenida mediante las cámaras de dichos dispositivos.

Sin ánimo de ser exhaustivo, a continuación se presentan las aplicaciones y usos principales para cada una de las tres tecnologías mencionadas. Para RV destacan las siguientes:

- Educación:
 - Interacción mundos virtuales. Modelado 3D. Trabajo en equipo.
- Militar:
 - Simulación operativa, táctica y estratégica. Toma de decisiones.
- Medicina:
 - Entrenamiento quirúrgico y clínico. Estudio anatómico. Seguridad del paciente. Simulación. Formación, capacitación y evaluación.
- Psicoterapia:
 - Sujeto activo y no pasivo, interacción con el entorno. Tratamiento de fobias. Rehabilitación psíquica y motora. Exploración controlada. Estimulación sensorial.
- Arte y entretenimiento:
 - Vídeo inmersivo 360°. Narrativa interactiva. Audio envolvente.
- Videojuegos:
 - Mundos virtuales interactivos en 3D. Control de sensores.

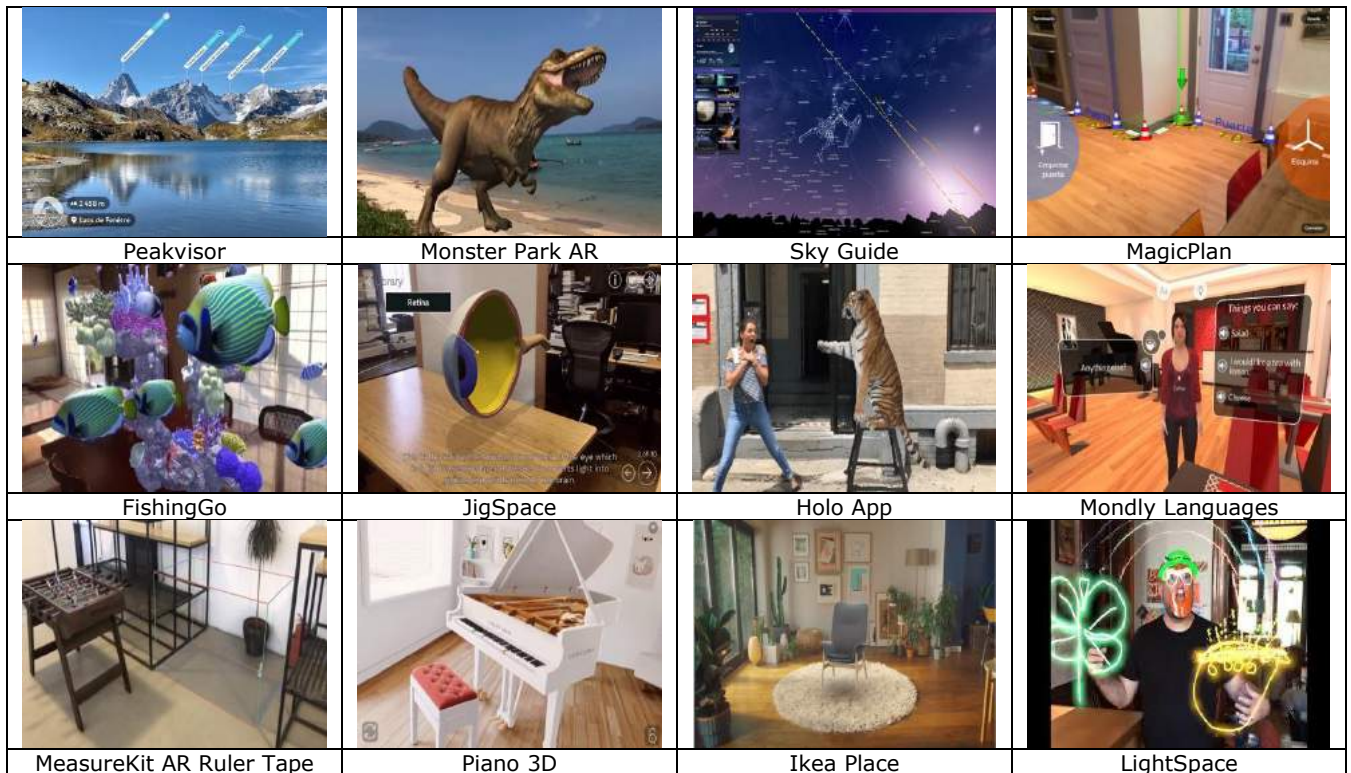


Figura 10. Ejemplos de apps de RA

La RA es protagonista en un sinnúmero de ámbitos en la actualidad tanto en la sociedad como en la empresa. Se muestran aquí los casos principales:

- **Entretenimiento:**
 - Redes sociales en RA. Superposición en tiempo real a imagen de cámara.
- **Medicina:**
 - Ecografías 4D y 5D. Detección y diagnóstico mediante visión RA. Sensores no invasivos. Entrenamiento médico y cirujano.
- **Educación y formación:**
 - Motivación. Lectura enriquecida inmersiva. Información contextual adicional inmediata. Gamificación o ludificación (*gamification*). Eduentretenimiento o entrenamiento educativo (*edutainment*). Trabajo cooperativo y colaborativo. Inclusión. Accesibilidad.
- **Videojuegos:**
 - Juegos digitales en entornos reales.
- **Militar:**
 - Visualización 360°. Marcación puntos peligrosos. Información georreferenciada.
- **Teletrabajo:**
 - Entornos de colaboración RA.
- **Publicidad:**
 - *Marketing* dirigido, información contextual según cámara y geolocalización.

- Turismo:
 - Información complementaria a partir de imagen y/o geolocalización. Indicación de puntos de interés en la ruta. Recreación histórica de monumentos y lugares.
- Comercialización:
 - Fusión de publicidad impresa y virtual. Previsualización antes de la compra. *Showrooms* virtuales. Configuradores a medida. Probadores virtuales (ropa, complementos, maquillaje, mobiliario, etc.). Información contextual.
- Gastronomía:
 - Cartas de restaurantes en 3D. Recetas interactivas.
- Astronomía:
 - Detección de constelaciones y objetos cósmicos. Seguimiento de movimientos. Información contextual.
- Arqueología:
 - Modelado 3D, reconstrucción histórica.
- Arquitectura y planificación urbana:
 - Renderización 3D de estructuras. Previsualización de proyectos interiores y exteriores. Recorridos virtuales. Georreferenciación. Superposición de tuberías y cables. Visualización de espacios subterráneos.
- Ingeniería, industria, fabricación y mantenimiento:
 - Formación segura en manipulación y operación. Monitorización. Diseño y prototipado de máquinas. Prevención de riesgos. Logística, inventario y trazabilidad. Cadenas de montaje. Monitorización. Asistencia remota en tiempo real. Información crítica en campo de visión.
- Arte:
 - Experiencias 3D en museos. Información contextual. Recreación en hogares de obras de arte. Producción, visualización y aprendizaje musical. Literatura en AR. Efectos cinematográficos.
- Emergencia (búsqueda, rescate):
 - Seguimiento, geolocalización, información contextual sobreimpresa en tiempo real.
- Navegación:
 - Información de tráfico y ruta en HUD del vehículo. Cálculo de rutas en RA a pie, en coche o en transporte público.
- Televisión:
 - Información complementaria en directo y sobre la imagen real: deportes, meteorología, recuentos electorales, concursos, divulgación científica, etc.
- Traducción:
 - Traducción inmediata a cualquier idioma enfocando con la cámara.

Por su parte, RM, que trata de aunar los beneficios de la RV y RA, las aplicaciones principales actualmente son:

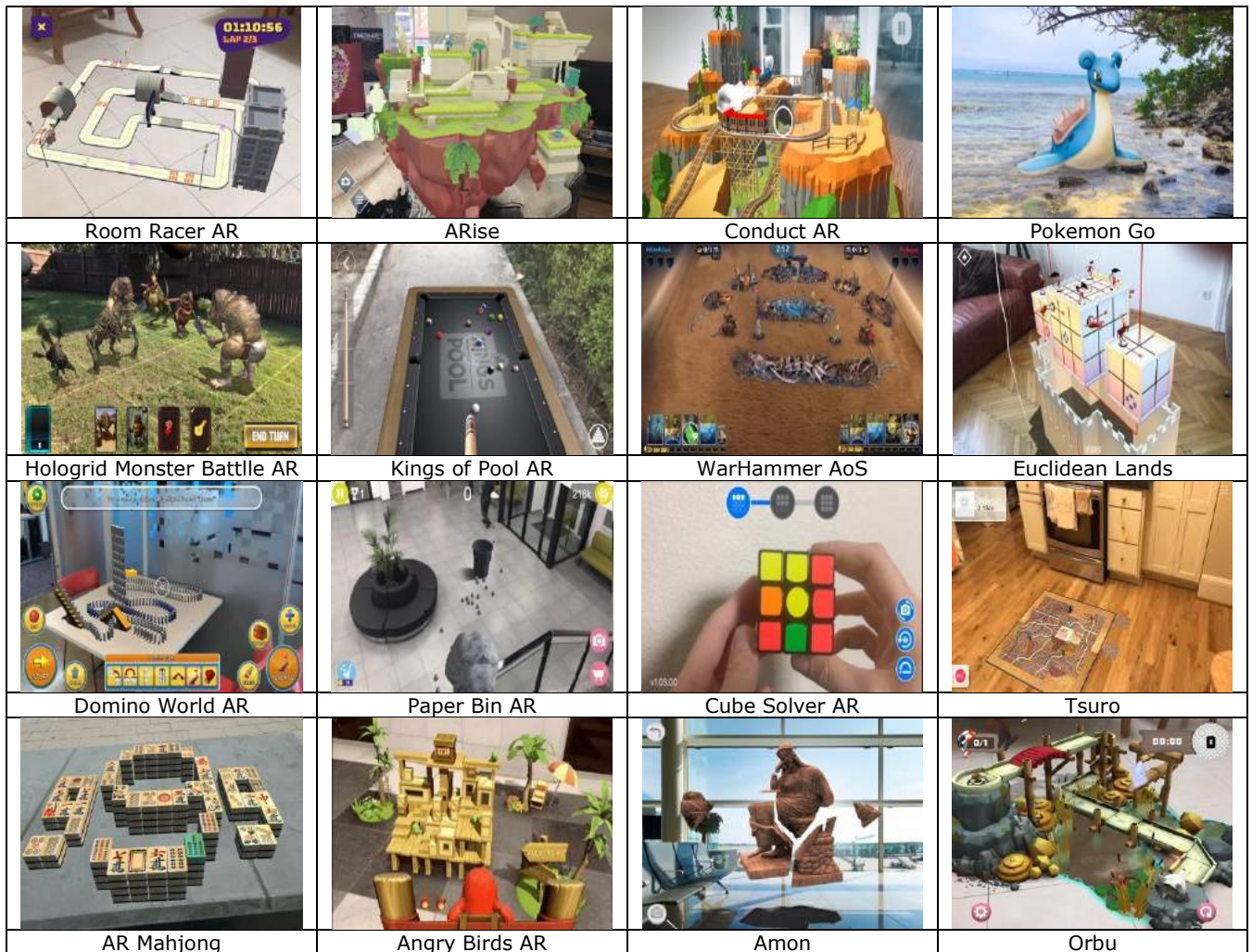


Figura 11. Ejemplos de juegos de RA

- Ocio y entretenimiento:
 - Identidades (avatares) virtuales y físicas. Interacción. Hologramas. Videojuegos. Exploración 3D.
- Educación y formación:
 - Interacción simultánea con mundos virtual y real. Simulación en 3D. Hologramas. Formación profesional.
- Negocios:
 - Entorno colaborativo en remoto. Asistencia remota. Autonomía. Comunicación a distancia. Publicidad contextual.
- Industria:
 - Diseño, prototipado y modelado 3D. Reducción de costes. Control de calidad.
- Militar:
 - Optimización del rendimiento (toma de decisiones, habilidad de detección, análisis de la información). Trabajo en equipo.
- Medicina:
 - Simulaciones quirúrgicas. Información digital complementaria en tiempo real.

Por su parte, la VA también dispone de aplicaciones reales a día de hoy. El ejemplo más claro de Virtualidad Aumentada es el plató de televisión, en el que es todo virtual salvo la imagen del presentador, captada del mundo real e insertada en el mundo virtual.

En cuanto a las apariciones de RV, RA y RM en cine, literatura y TV, podemos mencionar, sin querer ser exhaustivos:



Figura 12. Ejemplos de uso de RA

- Literatura:
 - Virtual Light (1993, William Gibson); RAX (2000, Eduardo Vaquerizo).
 - Múltiples libros interactivos basados en RA. Por ejemplo, 12 tomos con 365 cuentos de Pavinchi.

- Cine:
 - Tron (1982), Terminator (1994), The Matrix (1999), Minority Report (2002), Iron Man (2008), Ready Player One (2018).
 - RA y RM aún no ha llegado a las pantallas de cine. En poco tiempo se podrá visualizar una película formando parte de la misma.

CONCLUSIONES Y EVOLUCIÓN

Las diferentes tecnologías RV, RA y RM están presentando en la actualidad un tremendo auge, habiendo estudios y prospecciones que incluso llegan a reservarles un papel comparado con el que en su día experimentaron Internet o la telefonía móvil.

Si bien es cierto que ya existen infinidad de ámbitos de aplicación y que son tecnologías que han llegado para quedarse y resultar omnipresentes en no mucho tiempo, en la actualidad aún disponen de margen de mejora en determinadas cuestiones, entre las que se encuentran:

- Menor dependencia de controles. Evolución del rastreo de movimiento de manos.
- Uso de dispositivos HDM sin cables y sin dependencias de procesamiento externo.
- Uso de inteligencia artificial para posicionamiento y seguimiento.
- Uso de redes móviles 5G y de marcos IoT.

Por su parte, las tendencias principales actuales de estas tecnologías son las siguientes:

- Compras mediante AR (probar antes de comprar, *'try before buy'*).
- Formación remota y teletrabajo en AR.
- AR en vehículos, desde su adquisición (showrooms, personalización) hasta su mantenimiento.
- Mejora del soporte técnico a cliente. Cambio total de enfoque. Mayor facilidad de diagnóstico y resolución de incidencias y averías.
- Aplicaciones de navegación en interiores, emulando el papel de GPS en exteriores.
- Uso de lentillas biónicas y otros dispositivos biométricos y *wearables*.
- Afianzamiento de técnicas de RV en formación, educación y entrenamiento.
- Implantación progresiva de dispositivos y aplicaciones de RM.

PÁGINAS WEB DE REFERENCIA

<http://www.digi-capital.com>
<http://www.editeca.com>
<http://www.iat.es>
<http://www.oculus.com>
<http://www.researchgate.net>
<http://www.unity.com>
<http://www.vive.com>
<http://www.wikipedia.org>
<http://www.xataka.com>
<https://developer.apple.com/augmented-reality/>
<https://developers.google.com/ar/discover>
<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>