

Presente y Futuro de la Tecnología de la Realidad Virtual



Francisco Javier Pérez Martínez

Consultor de Tecnología

CIO IMPACT4D VR

Madrid

Email: franciscoperez@impact4d.net

Resumen

Este artículo describe la Tecnología de la Realidad Virtual (en adelante RV), desde sus orígenes en el siglo XX. Se habla aquí tanto de las limitaciones visuales que las tarjetas gráficas imponían hace tan sólo quince años hasta su desarrollo hoy en día, momento en el que se ha pasado de simular el entorno en una pantalla de ordenador a formar parte de él. Se presentan además, algunas de las aplicaciones más conocidas de esta tecnología, convertida en un medio más de comunicación gracias a los enormes esfuerzos de investigación que han conducido a un gran desarrollo de los ordenadores, durante los últimos treinta años.

De otra parte, con el apoyo de diversos ejemplos de RV, se evidencia la indiscutible ayuda prestada en la mejora de la calidad de vida en muy diversos campos de la actividad

diaria, la educación, el ocio, la ciencia, etc.. Entre ellos cabe destacar uno trascendental, el de la medicina, tanto en lo que respecta a las intervenciones quirúrgicas, como en lo pertinente a la realización de un diagnóstico más certero. Este artículo destaca que las diversas aplicaciones creativas e innovadoras de la Tecnología mejoran la calidad y manera de percibir la vida y que la Realidad Virtual, además, potencia la imaginación y libera la mente.

Palabras clave

*Realidad Virtual - Tecnología - Ciencia - Simulación - Interactividad - Internet - 3D
Estereoscopia – CAVE – Animación – Cyborg*

Abstract

This article describes the Virtual Reality Technology (hereafter RV) from the beginning of the 20th century. It also explains the development of graphic cards including the visual limitations imposed no more than fifteen years ago, where we have changed from simulate our environment in a computer screen to be part of it. There are here some of the most popular applications of this technology, which has become another means of communication through computers that humans have been able to develop over the last thirty years devoting enormous efforts to research.

On the other hand and thanks to several examples about RV, the article shows indisputable examples of help in the improvement of quality of life in many fields of daily activity, education, leisure, and so on, including medicine with transcendental developments -both in surgery and clinic diagnosis. It conveys the message that different creative and innovative applications of Technology improve our quality and way of

experiencing life, and Virtual Reality, further enhances our imagination and release our mind.

Key Words

*Virtual Reality - Technology - Science - Simulation - Interactivity - Internet - 3D -
Stereoscopic - CAVE – Animation – Cyborg*

Presentación

Innovación, creatividad, inmersión, fascinación, sensibilidad, asombro, información, desarrollo, imaginación, tecnología, interacción... Todos son términos que, de una manera precisa evocan y describen el concepto del mundo virtual. El tercer milenio que acaba de comenzar ha dejado atrás el concepto de Nuevas Tecnologías por el de sencillamente, Tecnologías -ya que siempre son innovadoras-, y ha asentado y extendido dos ideas primordiales para el avance social y técnico: información y conocimiento.

Dichas ideas, a su vez, se acompañan de dos revoluciones tecnológicas que han modificado la manera en que el ser humano ha pasado a comunicarse con sus semejantes. La primera de ellas es la red de redes: Internet, que de ser un mero apéndice de la telefonía de cobre se ha transformado en una infraestructura básica para la Sociedad del Conocimiento y motor de la Economía mundial, de tal manera que forma ya parte de la vida de cualquier persona de una manera tan natural, que es como si siempre hubiera estado allí.

La segunda revolución tecnológica la ha propiciado la Realidad Virtual, la percepción en 3D de entornos simulados que permiten trasladar al usuario a mundos de ensueño y le posibilitan viajar a través del tiempo al pasado y al futuro. Si la imaginación no tiene fronteras y el anhelo por descubrir nuevos paradigmas científicos tampoco, la *RV* es la herramienta sensorial que quizá más certeramente pueda permitir a la Humanidad buscar, encontrar y descifrar las nuevas claves que la conducirán por el sendero del saber respondiendo a las cuestiones antropológicas que desde siempre se ha preguntado, ¿quiénes somos? y ¿hacia dónde vamos?

Objetivo y Metodología

Este artículo comentado acerca de la *RV*, no pretende explicar todos los avances tecnológicos que se producen a diario en este sentido sino mostrar una panorámica sobre cómo la tecnología de la *RV* puede ser muy útil al ser humano y brindarle un *día a día* más llevadero. Dicho objetivo se logra mediante la descripción crítica apoyada en una profusa revisión bibliográfica que pretende hacer un recorrido –lo más amplio posible- del alcance y desarrollo de la tecnología de la *RV*.

Mencionando lo metodológico, se tiene en cuenta la praxis directa de éste autor, principalmente, como asesor en tecnología, pero además, una amplia y sistemática revisión bibliográfica obtenida gracias a una actividad recurrente de participación en congresos, conferencias, consulta de literatura técnica –amplia y continuamente actualizada a lo largo de los años- y por supuesto, consulta crítica y selectiva a nivel nacional e internacional, de la literatura digital existente en la red.

¿Qué es la Realidad Virtual?

Existen multitud de definiciones acerca de lo que es o lo que significa la *RV*, entre las que se destacan las siguientes:

La *RV* comprende la interface hombre-máquina (*human-machine*), que permite al usuario sumergirse en una simulación gráfica 3D generada por ordenador, y navegar e interactuar en ella en tiempo real, desde una perspectiva centrada en el usuario.

La *RV* es una experiencia sintética mediante la cual se pretende que el usuario sustituya la realidad física por un entorno ficticio generado por ordenador. “La *RV* es lo

más parecido que tenemos a la Máquina del Tiempo, en tanto que nos permite recrear virtualmente cualquier tipo de espacio en tres dimensiones y situarlo en cualquier época, incluso en el futuro, con un grado de realismo completamente creíble”, (Alejandro Sacristán, 1990).

En una entrevista a la revista *Mundo 2000*, Jaron Lanier -quien acuñó el término de RV en la investigación que en su momento iniciara Ivan Sutherland-, dice:

“La idea en RV es “generar” realidad con otras personas. Estás haciendo sueños cooperativos todo el tiempo”

Artistas e investigadores de reconocido prestigio, han opinado sobre ¿qué se busca al entrar en un mundo virtual?.

Ken Perlin (Director del Media Research Laboratory en New York University):
*“Cuando accedo a un espacio virtual lo más importante para mí es tener la sensación de estar accediendo a un mundo que me afectará emocionalmente y en el que me puedo sumergir. Y cuando es así, me maravillo, como si fuera un niño”.*¹

De otro lado, Miro Kirov, escultor y artista 3D, de origen búlgaro, quien trabaja en NY, señala al respecto: *“Lo primero que hago es mirar el suelo que piso. Si el mundo es una simulación, nuestro entorno virtual es nuestra realidad. Pensar que el mundo es una expresión abstracta tridimensional flotando en el espacio es, simplemente, una opción más”.*²

Obviamente el espectador de un espacio virtual puede tener un papel pasivo, sólo como observador -ni activo ni interactivo-, pero se debe destacar que el propósito cardinal del diseño de espacios virtuales es conseguir una experiencia inmersiva e interactiva entre el espectador y el mundo. De hecho, si no se consigue la interacción y la inmersión “física”, no

¹ Gauthier, Jean-Marc. *Diseño animado interactivo en 3D*. 2005. Ed. Anaya Multimedia

² Ídem.

se tendrá verdadera *RV*. Comparativamente, se puede pensar que un buen libro también puede trasladar al lector a un mundo de ensueño y hacerle partícipe de una determinada historia. No obstante, dicho individuo seguirá sentado en el sillón de su casa, o en la parada del autobús.

Estas definiciones y otras existentes, son válidas porque expresan un aspecto particular de lo que es y significa la verdadera *RV*, de lo que se siente al experimentar la completa inmersión en un mundo 3D, de lo que se percibe al ver salir los objetos de la pantalla y acercarse a uno mismo, de lo que se siente al tocar con la punta de los dedos el contorno de un modelo digital cuasi-real, que a pocos centímetros de los ojos del usuario emite un sonido envolvente, como si estuviera contestando a su interlocutor. En conjunto, son muchas las emociones y las sensaciones.

Algunos ejemplos visuales de Realidad Virtual

Una de las principales bondades que caracteriza a la *RV* es que permite



encontrarse cara a cara con la información, tal y como es posible observar en estas imágenes del The National Center for Supercomputing Applications (NCSA) de la University of Illinois en Urbana-Champaign. Los investigadores pueden recorrer, por ejemplo, el interior de una molécula de ADN con un simple *joystick* o guante virtual, si se

desea, y unas gafas de visualización esteroscópica, que permiten al interesado acercarse tanto como desee al punto concreto de su interés. Y que así, observe simplemente, palpe o modifique en tiempo real de diseño la zona específica del objeto en cuestión, con una idea bastante clara y aproximada de las dimensiones reales que la estructura virtual a escala muestra en vivo y en directo.

El Triángulo de la Realidad Virtual

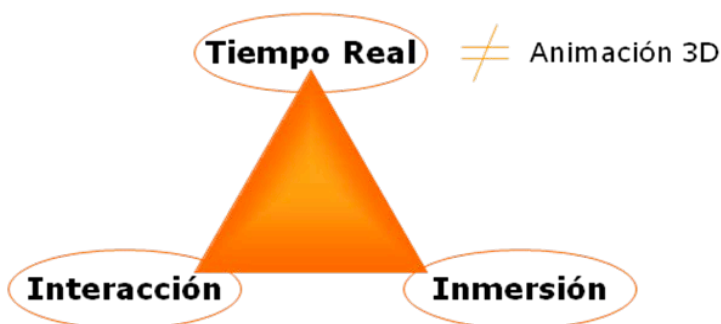
La *RV* (Multiusuario) se puede considerar como un medio de comunicación en sí mismo, que puede ser capaz de permitir en un futuro la participación corporal total en un mismo espacio compartido de telecomunicaciones generado por ordenador que podría estar dotado de retroalimentación multisensorial.

Las 3 características fundamentales que definen la *RV* frente a las animaciones 3D tradicionales son: posibilidad de *tiempo real*, que permite elegir la dirección hacia dónde moverse en el interior del escenario o hacia dónde dirigir la mirada; *inmersión* completa por el interior del mismo, perdiendo el contacto con la realidad exterior al percibir únicamente los estímulos del mundo virtual; e *interacción* con los elementos que lo conforman, que permite interactuar con el mundo virtual a través de diversos dispositivos de entrada, como: joysticks, guantes de datos, etc. Se posibilita así al usuario para modificar



Power Glove (Mattel)

Animación 3D \neq



elementos del mundo virtual recibiendo, a su vez, una respuesta del mundo 3D, a través de sus sentidos.

Dos de estas características están estrechamente relacionadas entre sí, aunque no son lo mismo: *tiempo real* e *interactividad*. Éstas son necesarias para una definición de *RV*, entre otros motivos, por su carácter distintivo. Permiten distinguir la *RV*, por ejemplo, de las fotografías 360° -en las que existe tiempo real, pero no la posibilidad de interactuar cambiando alguno de los elementos de la imagen, aunque sí “tocar” zonas activas de la misma que produzcan un efecto adicional y, por supuesto, en las que no existe inmersión total-.

En éstas el usuario es espectador frente a una imagen que se mueve alrededor de sí mismo, pero éste, no puede “atravesar” las paredes de su soporte. Se puede considerar que uno de los objetivos perseguidos dentro del mundo virtual es la respuesta inmediata por parte de éste, considerando acertada en ese caso la identificación: tiempo virtual = tiempo real.

Cabe considerar también el hecho de que algunos investigadores incluyen la *imaginación*³, como el tercer vértice de este triángulo conceptual de la *RV*, ya que a través del mundo virtual se pueden concebir y percibir realidades que no existen, de manera parecida a como sucede con la creación artística; sin embargo, no se debe olvidar que esta posibilidad también la puede facilitar la visualización de una película animada 3D -sin ser ésta *RV* en ningún caso-.

³ Grigore C. Burdea, *Virtual Reality Technology* (second edition). 2003. Ed Wiley. New York

Breve Historia de la Realidad Virtual

Hacer un verdadero recorrido histórico por los hitos y avances tecnológicos significativos que han tenido lugar durante los últimos cincuenta años sería demasiado extenso y no es el propósito de este documento. Es por ello que, para simplificar ese maravilloso y excitante periplo de la *RV*, se señalan cuatro grandes etapas:

Primera etapa. Desde que Ivan Sutherland publicó "The Ultimate Display" (1965) en el que describía el HMD, casco o Head Mounted Display, hasta que Jaron Lanier, CEO del Virtual Planetary Laboratory, VPL Research, inventó el término "Realidad Virtual" (1989). La NASA y el US Army (Ejército de los Estados Unidos) fueron algunos de los primeros organismos oficiales en emplear esta nueva tecnología.

Segunda etapa. Comienzan a producirse películas de cine cuya temática es la *RV* como "El Cortador de Césped" (Brett Leonard, 1992). Y también juegos de ordenador que cabe preguntarse, ¿Son verdadera *RV*? Más adelante se dará respuesta a esta pregunta.

Tercera etapa. Hacia 1994 aparece un software de formato de archivo estándar para visualizar modelos 3D en la web llamado *Virtual Reality Modeling Language*, *VRML*, (Dave Ragget y Tim Berners-Lee, el mismo del *HTML - HyperText Markup Language - Lenguaje de Marcado de Hipertexto*). Esto sí se considera 3D interactiva, aunque no es inmersiva aún, y funciona vía Internet. Por otra parte, se deben considerar las limitaciones de memoria del hardware existente en la época y el escaso ancho de banda para las transmisiones de la información, así como un software aún incipiente. Estos hechos frenaron este impulso y llevaron la corriente principal de la Realidad Virtual a otras áreas como la "Realidad Aumentada", la "Teleinmersión" y los ambientes artísticos interactivos.

Cuarta etapa. Y no por ello posterior, pero sí seguirá un camino distinto al no implementarse aún a través de internet. En el Laboratorio de Visión Electrónica de Chicago (EVL) se inventa el "Computer Automatic Virtual Environment", CAVE, en el año 1992. Basado en la proyección de imágenes sobre unas paredes translúcidas, que son pantallas de retroproyección, normalmente opera mediante un sistema de visión llamado estereoscópico (con sensación de profundidad 3D), de manera que múltiples usuarios pueden interactuar entre ellos y dentro del entorno virtual compartido.

¿Qué aporta la RV y por qué se presupone importante?

Habría que hacer especial hincapié en el valor añadido que de por sí posee esta tecnología de visualización:

En una animación 3D convencional el espectador se sumerge en la historia pero sin control sobre ella, es un observador pasivo y todo se desarrolla linealmente en el tiempo. Sin embargo, el espectador de un espacio virtual tiene más de una elección sobre las acciones y sobre lo que ve. *“Se acerca mucho más a la vida”,* dice Miro Kirov: *“estamos ante una determinada situación y hemos de hacer una elección y asumir sus consecuencias”*.⁴ Mejora la retentiva y el modo en que se ven las cosas. Permite cambiar la escala de representación de objetos y ver una brizna de hierba como lo haría un insecto.

Es una forma más económica y completa de visualización. Se podrán observar los modelos 3D, que pueden haber sido generados previamente o no, e insertados dentro del entorno de visualización desde cualquier perspectiva y también desde el interior, sin restricción alguna, libre de riesgos para el usuario.

⁴ Gauthier, Jean-Marc. *Diseño animado interactivo en 3D*. 2005. Ed. Anaya Multimedia

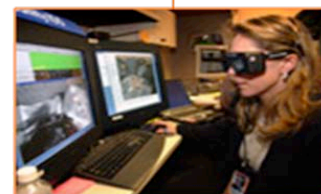
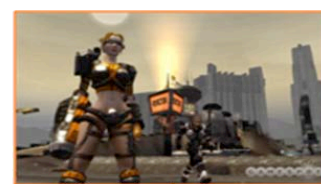
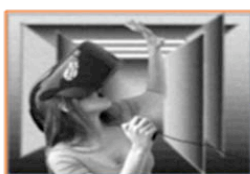
Como valor añadido también se destaca que la *RV* aporta libertad absoluta de movimiento por el mundo o entorno virtual, permitiendo interactuar activamente con el diseño 3D. Al modelar directamente y visualizar en tiempo real, se reducen sensiblemente los costes. Se mejoran todos los niveles de decisión y control.

De otra parte, tal como señaló Negroponte, se consigue una “*comunicación más natural e íntima con la máquina*”.⁵ El concepto de *RV* y los ambientes virtuales, surgieron inicialmente como una interfaz hombre-máquina más eficiente. La novela de Ciencia Ficción “*Snow Crash*” de Neal Stephenson⁶, 1992, es un punto y aparte en este sentido en el que Stephenson introduce una historia del siglo XXI planteando cómo el *metaverso* o elemento sucesor de internet, constituye un espacio basado en la realidad virtual y cómo podría evolucionar en un futuro cercano. Por supuesto este autor recomienda su lectura para aquellos interesados en ver la aportación que la tecnología hace a la literatura introduciendo el término de ciberpunk, el cual se considera un subgénero literario-.

Diferentes Sistemas de Realidad Virtual

Dependiendo del tipo de Interface/Hardware empleado en la visualización interactiva, una primera clasificación podría ser ésta:

1. Sistemas Desktop de Realidad Virtual ó WoW



⁵ Negroponte, Nicholas. *El mundo digital*. 1995. Barcelona, Ediciones B.

⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Snow_Crash. Acceso el 16/02/2011.

(Window on World), mostrando una imagen 2D ó 3D en un monitor, “casco” o pantalla de proyección. Son la mayoría de los videojuegos para PC’s o consolas de los hogares. El usuario ve la imagen en primera persona.

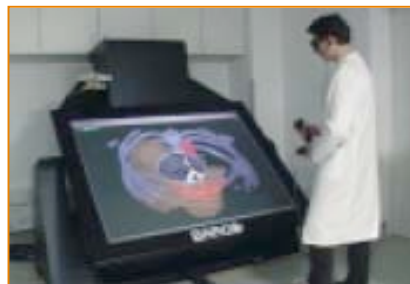
2. **RV en Segunda Persona:** el usuario sabe que está en el mundo virtual porque se ve a sí mismo dentro de la escena. Es un integrante “visible” del mundo virtual porque ve la proyección de su imagen en un fondo o ambiente.



Se aplica la idea de “*ver para creer*” para inducir la sensación de presencia.

3. **Sistemas de Telepresencia:** Telemedicina, Telerrobótica.

Con cámaras, dispositivos táctiles y de retroalimentación, ligados a elementos de control remoto que permiten manipular robots ubicados a distancia mientras se experimentan en forma virtual. En algunas ocasiones se denomina “*Telepresencia*”



sólo al hecho de manifestarse en un mundo virtual como un ente, mientras que a su interacción con objetos reales se la conoce como “*Mixed Reality*” o “*Realidad Mezclada*”.

4. **Sistemas de Inmersión de Realidad Virtual:**

Sumergen al usuario en el mundo virtual, utilizando sistemas visuales tipo CAVE, con sensores de posición y movimiento, quedando el usuario, sumergido “realmente” en la atmósfera virtual y formando parte de ese mundo.



o en el tratamiento de las fobias, donde la *RV ha constituido* una ayuda terapéutica indiscutible al permitir representar virtualmente -con la importante reducción de costes que ello supone-, aquello que nos asusta y da miedo como podrían ser: insectos, volar en un avión, el vértigo a las alturas, etc.. Su aplicación permite al experto controlar y graduar de manera eficaz e instantánea la intensidad del efecto producido en el paciente, según la reacción que éste pueda manifestar; sin que haya de moverse de un cómodo sillón. Todo a través de un casco de visión o a través de unas pantallas de proyección.

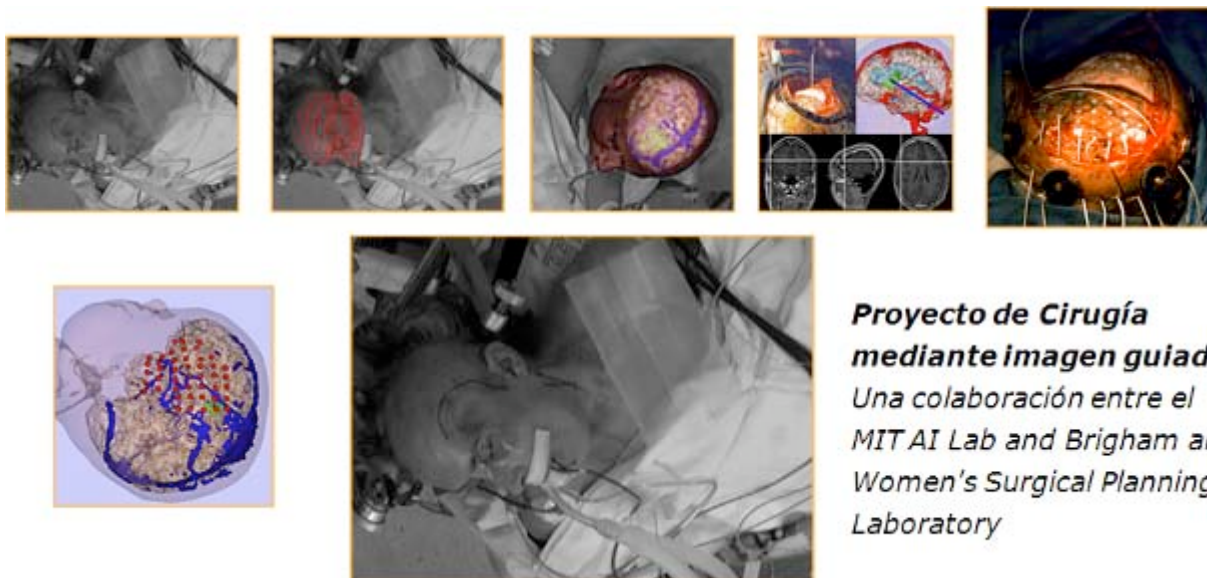
Desde luego, la inestimable ayuda prestada a los cirujanos a la hora de realizar una intervención quirúrgica es una de las más trascendentes aplicaciones de la *RV* en la actualidad. Y esto es así, entre otras cosas, porque la *RV* hace posible repetir una y otra vez el proceso de una determinada operación quirúrgica antes de llevarla a cabo, reduciendo por tanto, al mínimo, los riesgos que puedan acaecer en el momento de la intervención real.

El Dr. Tomás Gómez Cía, director de la Unidad de Cirugía Plástica y de Grandes Quemados del Hospital Virgen del Rocío de Sevilla, afirma a este respecto: *“La RV ofrece una inmensa precisión si se aplica a los procesos quirúrgicos, y permite reducir tiempos de operación, así como dosis de anestesia en el paciente, y en general, costes de la intervención”*.⁷

Los casos de éxito de las aplicaciones médicas de la *RV* a nivel mundial se multiplican día a día. Junto a su equipo médico, el Dr. Tomás Gómez Cía ha sido uno de los pioneros en realizar con éxito hace unos meses el segundo trasplante de cara en España, con la asistencia de software específicos de *RV* desarrollados por la empresa T-Systems. Desde que en 2008 comenzaran a introducir la simulación en 3D en el campo de la cirugía, han sido más de 100 los pacientes intervenidos en su hospital con la ayuda de tecnologías de *RV*.

⁷ www.europapress.es. Fecha: 9 de Julio de 2010

A continuación se muestra una secuencia guiada de los pasos a seguir por parte de los cirujanos en una intervención cerebral:



Proyecto de Cirugía mediante imagen guiada:
Una colaboración entre el MIT AI Lab and Brigham and Women's Surgical Planning Laboratory

Los *dispositivos hápticos* son determinantes a la hora de realizar tareas en las que se necesite un alto grado de entrenamiento, como es el caso de las intervenciones quirúrgicas, pudiéndose dividir. Según Grigori Burdea, este tipo de interfaces se pueden clasificar en tres grandes grupos según el tipo de *force feedback* o retroalimentación que proporcionen.

Una burda, pero efectiva comparación es la sensación que se tiene al ponerse a las manos de un volante de conducción de videojuegos -piénsese en cualquiera de los comercializados en una superficie comercial-, y experimentar las vibraciones y movimiento que transmite en el momento de



Estudiante de medicina de Beth Israel Deaconess Medical Center, muestra las pruebas del nuevo simulador virtual mejorado de cirugía háptica

Fuente: [Rensselaer Polytechnic Institute](http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=)

<http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=2750>

experimentar un derrape y salir de una curva del circuito de carreras en el que se está compitiendo virtualmente.

La *RV* se emplea en la actualidad para infundir estados de ánimo positivos en los astronautas que viajan a Marte en el marco del proyecto “EARTH” (*Emotional Activities Related to Health Using Virtual Reality*) desarrollado por investigadores del Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano I3BH (integrado por unidades de investigación de la Universitat Politècnica de Valencia, la Universitat de Valencia y la Universitat Jaume I), y en colaboración con la Universidad de Cádiz.

Dicha experiencia está basada en el uso de la *RV* a través de módulos de psicología asistida por ordenador, que ayudan a “regular las emociones y el estrés de los astronautas, permitiéndoles una mayor capacidad de reacción ante situaciones adversas”⁸. Pretende, además, investigar los aspectos psicológicos y médicos de una misión aeroespacial de larga duración, formando parte del programa internacional “Mars500” el cual, desde el mes de junio de 2010, simula un viaje tripulado a Marte, de 520 días de duración.

RV en el Entrenamiento Táctico de los Soldados

En el mercado comercial existen varios kits de software que están siendo utilizados por los ejércitos de diversos países, tales como España o Estados Unidos, para formar y entrenar a los soldados en operaciones tácticas de tierra, mar o aire. Dichos kits permiten, entre otras cosas, la creación y despliegue rápido de escenarios combinando



⁸ www.valencia.edu. Universitat de Valencia. 1 de abril de 2010.

elementos 2D y 3D, escalables y con implementación de características de Inteligencia Artificial. Cabe mencionar que la empresa “Antycip Simulation” es pionera y líder europea en la implantación de este tipo de soluciones.

Plataforma de Movimiento de Simulador de

Conducción o de Vuelo

Algunas de las aplicaciones más conocidas de la *RV* en el ámbito militar, son los simuladores de conducción de vehículos terrestres o de pilotaje de aviones, helicópteros, etc. A continuación se muestran algunas imágenes descriptivas del funcionamiento de los mismos. Básicamente funcionan mediante unas plataformas hidráulicas de movimiento, dotadas de seis grados de libertad, es decir, permiten el desplazamiento en las tres direcciones espaciales y el giro según los tres ejes X, Y, Z.

De esta manera, la sensaciones que percibe el piloto dentro de su cabina de control al



efectuar un vuelo simulado, es decir, al ver frente a él en las pantallas de proyección que su aparato está despegando o aterrizando, virando, etc., son las mismas que recibiría en

condiciones normales de vuelo real, además de que todo el sistema de instrumentación -la aviónica en el caso de aeronaves-, también muestra en las pantallas/relojes correspondientes, los datos técnicos de situación, control, realización de una maniobra, alabeo, guiñada, cabeceo, etc., tal y como serían en la realidad.

A priori, se destaca que la mayor ventaja que se obtiene a la hora de construir e implementar un simulador de vuelo es que el piloto puede entrenar las veces que sea necesario y mejorar así su técnica y conocimiento sin que por ello peligre su vida, al ser imposible que se estrelle su aeronave pues no ha llegado a despegar del suelo en ningún momento.

Evidentemente, la segunda razón por la que los pilotos noveles entrenan en un simulador de vuelo es que no existe riesgo de estrellar los trescientos millones de euros que suponen la fabricación de un Airbus 380, pues el coste de fabricación de un entrenador virtual puede ser del orden del millón de euros, según versiones y capacidades tanto del hardware como del software⁹.

"Computer Automatic Virtual Environment", CAVE.

El CAVE es el sistema inmersivo de RV más efectivo que existe de entre todas las interfaces o sistemas de visualización de hoy en día, ya que es capaz de sumergir al usuario o grupo de usuarios completamente dentro del mundo que está contemplando en ese momento.

Los primeros CAVE nacieron a partir de un triple sistema de proyección basado en ordenadores Silicon Graphics, hasta que en 1996 se llegó a construir el primer CAVE de "*cinco dimensiones*", es decir, tres paredes, suelo y techo (así llamado por el número de

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A380 (Día 18/02/2011)

planos de visualización que posee, no porque en él se puedan ver 5 dimensiones -sólo somos capaces de ver las tres de toda la vida- que, por cierto, es lo que desearían muchos físicos dedicados a la investigación de fenómenos cuánticos n-dimensionales).

En la actualidad, ya existen CAVE's de seis lados -visión total-, como el del "Center of Parallel Computers" en Suecia (VR-CUBE) y hasta esféricos (THE CYBERSPHERE).

CAVE: ¿Verdadera Realidad Virtual?

Inventado por la alicantina Carolina Cruz-Neira en la Universidad de Illinois (USA), en colaboración con el norteamericano Dan Sandin. El CAVE permite sumergir en RV's a grupos de personas que interactúan y evolucionan con visión 3D.



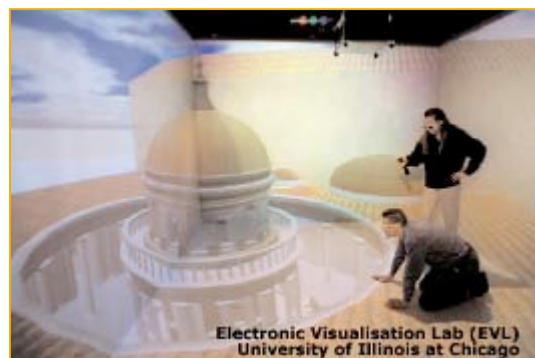
CAVE como Plataforma de Proyección

La estructura del CAVE es un sistema de pantallas dispuestas en forma cúbica, situándose en el interior del cubo los *usuarios*, pudiendo existir CAVEs de 3, 4, 5 ó 6 pantallas. El CAVE es el sistema más eficaz para permitir sumergir a varios usuarios simultáneamente en un mundo virtual de tres dimensiones, interactivo, en tiempo real y con visión estereoscópica -sensación de profundidad-.

CAVE: Virtual Heritage / Patrimonio Virtual

Se emplea tanto en los entrenamientos de las misiones de la Estación Espacial Internacional como en la Reconstrucción Virtual del Patrimonio Histórico-Artístico o Virtual Heritage.

Tanto para impartir clases de Arquitectura Histórica y explicar los elementos estéticos, el dimensionamiento de espacios, la iluminación y estructuras, entre otras, como para explicar el funcionamiento interno de una célula.



Es posible unir en red distintos CAVE's distribuidos por el mundo, mediante TCP/IP u otros protocolos de comunicación, con el fin de que empresas multinacionales que tienen distribuido su personal por el mundo puedan trabajar conjuntamente, es decir, si se dispone del equipo de diseño en Japón, la manufactura en Corea, el montaje en Paraguay y la venta en Europa, se puedan tener reuniones virtuales en un mismo escenario con actores virtuales que representan a cada uno de los participantes.

CAVE: CityCluster

“From the Renaissance to the Megabyte networking age”

*/ “Desde el Renacimiento hasta la edad de las
redes y el Megabyte”*



Fue la primera aplicación en red multiusuario creada en RV por el artista Franz Fischnaller. En ella se escenifican dos entornos virtuales: Florencia o “*Renaissance Age*” y Chicago o “*Gigabits Networking Age*”, que pueden visualizarse en sus respectivas CAVES.



Cada escenario es guiado por un *avatar*¹⁰ virtual: David, Venus, and Machiavelli y Mega, Giga and Picasso. Los visitantes pueden contactar entre ellos de una ciudad a otra a través de los *avatars*, que son los personajes que ayudan en la interacción y desplazamiento por el entorno 3D.

CAVE Portable

Generalmente, dada la complejidad de los dispositivos necesarios para el correcto funcionamiento de este tipo de sistemas audiovisuales interactivos, las



¹⁰ Avatar: representación gráfica, generalmente humana, utilizada en internet y en otras tecnologías tridimensionales, que es asociada a un usuario para su identificación. Neal Stephenson lo popularizó en 1992 a través de su novela ciberpunk titulada *Snow Crash*, donde se empleaba este término para describir la simulación virtual de la forma humana en el *Metaverso*, una versión de Internet en realidad virtual.

instalaciones se hacen de forma permanente en museos, laboratorios de investigación universitarios o centros de producción empresariales.

Sin embargo, la empresa IMPACT4D VR es la única compañía tecnológica española que dispone de una instalación tipo CAVE portátil, que permite su montaje o desmontaje en tan sólo cuatro horas. Un perfecto sistema de ensamblaje de pantallas y unos kits portables de material informático y audiovisual hacen que en cualquier lugar se pueda operar la instalación y trasladar al usuario al mundo virtual deseado.

Escenarios Virtuales para Televisión

Utilizados desde hace años en los informativos y programas de espectáculos de todas las televisiones, también pueden considerarse una forma de RV.



*Entornos
hi-tech completamente
electrónicos y animados*



*Set virtual en el que a través
de una simple neurona
podemos viajar por el neo-
cortex cerebral*

RV en el Arte: Museo de las Formas Puras

El usuario puede tocar las esculturas artísticas y adentrarse en las pinturas más emblemáticas de la historia a través de internet, con el fin de comprender mejor las obras de arte; empleando para ello sensores visuales y



táctiles. Ha sido desarrollado por expertos del Laboratorio Percro, de la Escuela Superior Santa Ana, de Pisa (Italia), con la colaboración del University College de Londres, la Universidad de Uppsala (Suecia), la Opera Primaziale Pisana de Pisa, el Centro de Arte Contemporáneo de Santiago de Compostela (España) y las empresas Pont-Tech y 3d Scanners

A través del Museo de las Formas Puras, es posible adentrarse en el lienzo de Leonardo de Vinci y formar parte de *La última cena* como un apóstol más, percibiendo las sensaciones ambientales que el artista immortalizó y descubriendo incluso las migas de pan que han pasado desapercibidas al común de los mortales. Se ha pretendido superar el límite de la tradicional contemplación del arte a través de la mirada, mediante el concepto innovador de la percepción háptica = tocar.

Mundo Virtual de la Ciencia

Desde hace apenas un año, está en funcionamiento este proyecto que pretende crear la base de un mundo virtual 3D interactivo en internet, dónde se pueden experimentar, ver y tocar, aquellas enseñanzas que hasta ahora sólo era posible mirar en imágenes de un libro o en películas animadas. Las posibilidades de divulgación científica y capacidades pedagógicas de nuevos productos diseñados mediante aplicaciones 3D interactivas se multiplican con iniciativas de este alcance social y educativo.



“Playtime Computing”: La Sala de Juegos Virtual

Quizá una de las más esperanzadoras aplicaciones de la *RV* mediante el uso de un sistema CAVE, por el objetivo educativo que persigue, sea esta iniciativa desarrollada por científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts, que mediante varias pantallas interactivas de proyección a modo de paredes,



un conjunto de reflectores montados en el techo que proyectan imágenes en el suelo y un robot llamado *Alphabot* en forma de cubo y controlado por control remoto, prometen conseguir que los más pequeños, con edades entre 4 y 6 años, desarrollen lo que los psicólogos llaman "*juegos de imaginación*", es decir, la experimentación temprana con el razonamiento simbólico y los roles sociales, algo crucial para su desarrollo cognitivo.

Adam Setapen, estudiante graduado en el Grupo de Robótica que dirige la profesora Cynthia Breazeal, quién colaboró en el diseño de esta innovación lúdica, comenta que el objetivo buscado desde el primer momento ha sido la posibilidad de interactuar jugando entre varios espacios: "*Una de las cosas con las que estamos realmente entusiasmados es con tener dos de estos espacios, uno aquí y otro tal vez Japón, de modo que cuando el robot entre en el mundo virtual aquí, salga del mundo virtual en Japón*"¹¹, idea que recuerda al CityCluster antes mencionado.

Joe Blatt, director del programa de Innovación y Tecnología de la Educación de la Universidad de Harvard, dice: "*Es muy importante para los niños aprender lo antes posible que lo que hay al otro lado de la pantalla, lo que funciona gracias a la informática, no debe*

¹¹ Massachusetts Institute of Technology. <http://web.mit.edu/newsoffice/2010/rolling-robot-1122.html>

*ser visto simplemente como algo que está ahí, algo dado por otros, sino que tú puedes obtener los mismos efectos que obtendrías si estuvieses creando algo con un juego de construcción*¹².

Realidad Virtual Cartográfica

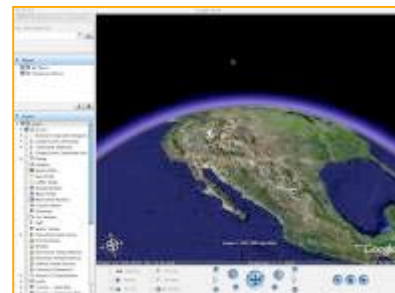
Terragen

Es un software para Mac o Windows, que permite recreaciones de paisajes y entornos naturales de la superficie terrestre que pueden parecer reales, y que se pueden integrar en *engines* 3D, motores de RV, para su utilización en mundos virtuales.



GoogleEarth

Se puede descargar casi cualquier orto-imagen de la superficie terrestre, haciendo búsquedas directas por internet del lugar en concreto o a través de los datos de longitud y latitud geográficas. Dichas imágenes se muestran en relieve y en tiempo real. .



¹² Ídem

Realidad Virtual en Internet Multiusuario

Ejemplo de implementación en el ciberespacio es el mundo virtual “Second Life”, un *metaverso*¹³ dónde los residentes colaboran en la construcción del espacio mediante *avatares* -personajes con características persistentes-, que eligen su propio vestuario, realizan negocios o imparten cursos de formación, entre otros. Es un mundo virtual



persistente, es decir, no desaparece cuando se desconecta de internet.

Otro entorno virtual 3D para internet con un grafismo en alta definición es *BlueMars*, que utiliza los gráficos en 3D de motor de RV *Crytek* y cuenta con la plena integración de Adobe Flash 10.

Animal Crossing es un juego online multijugador del tipo MMOG (*Massively Multiplayer Online Game*), ejemplo de simulador social en tiempo real para la consola portátil de Nintendo. Para avanzar hay que tejer una red de amigos lo más amplia posible: "*Queríamos crear algo muy innovador y que se pudiera jugar durante pocos minutos cada día,*



¹³ Metaverso: concepto que representa espacios tridimensionales inmersivos, generalmente en internet, empleándose por primera vez en la novela *Snow Crash*, Neal Stephenson, 1992.

pero durante mucho tiempo", comenta Shigeru Miyamoto¹⁴, uno de los desarrolladores más conocidos de Nintendo. Ofrecen juegos, chats y actividades lúdicas y científicas con finalidades educativas. Dicha afirmación justifica por sí misma que la escuela y la familia, o viceversa, conozcan los nuevos ambientes de estos mundos virtuales.

Los metaversos como TelePlace, un entorno social de Tele-reunión o Tele-trabajo, permiten optimizar la eficiencia de los empleados que trabajan en varios equipos de trabajo, distribuidos geográficamente a la vez, así como el VR-Learning, es decir, la formación a distancia reproduciendo la funcionalidad y el entorno de un aula, así como la creación de colaboraciones efectivas con proveedores y clientes.

¿Son los videojuegos verdadera Realidad Virtual?

Los videojuegos sí son verdadera Realidad Virtual, aunque no lo fueron en sus comienzos, en los que la inmersión y la interactividad casi no existían. Fue a partir del año 1993, con la aparición del juego denominado *DOOM* cuando comenzó la lenta convergencia que ya existe en la actualidad entre videojuegos y *RV*. A partir de aquí, surge el concepto denominado "Serious Games", consistente en el conjunto de aplicaciones basadas en la tecnología de desarrollo de los videojuegos, pero con un propósito distinto del puro entretenimiento ya que hacen referencia fundamentalmente a productos de utilidad en otros ámbitos de la vida como puede ser en industrias como la defensa, la educación, la exploración científica, la asistencia sanitaria, la gestión de emergencias, el urbanismo, la ingeniería, la religión, la política, etc..

De otra parte también se considera que los



¹⁴ www.todonintendo.com. 2006

videojuegos son *RV* en la medida que cumplen con los requisitos exigidos, a priori, a toda aplicación que se quiera considerar *RV*: *tiempo real*, *interactividad*, e *inmersión*.

En la actualidad, todos los videojuegos que salen al mercado, tanto para consola como para PC, disfrutan de unas características gráficas y una interactividad que hace tan solo quince años hubieran sido casi impensables. Es necesario apuntar en este sentido que existe un tipo concreto de videojuegos llamados “*casual play*” o de tipo “*casual*”, que suelen disfrutarse por internet exclusivamente y tienen la ventaja de ser muy simples respecto al grafismo necesario, con lo que funcionan al cien por cien con un equipamiento informático mínimo tanto en ordenador, teléfono móvil o cualquier otro dispositivo portátil – también considerados mini ordenadores-.

Y todo, gracias a la tecnología, a la mejora de las tarjetas aceleradoras gráficas, que son un verdadero microprocesador en sí mismas, al incremento de la velocidad de las operaciones de procesado de los chips, al bajo coste al que se está llegando a producir las memorias internas y externas para los ordenadores.

Los videojuegos de última generación poseen una nitidez gráfica excelente, casi



todos los objetos disponen de gran inteligencia artificial y “física” de comportamiento, tanto en el escenario como en la interactividad.

En el año 2004 apareció en el mercado de juegos de PC una obra de ingeniería del software lúdico que

marcó la forma de desarrollar juegos en el futuro: “Far Cry”, de la empresa alemana Crytek. La iluminación poseía una suavidad extrema y tanto las transparencias de las imágenes como la paleta de colores y las sombras, estaban todas renderizadas¹⁵ en tiempo real.

Las versiones posteriores tanto de esta obra del arte lúdico como del resto que están comercializándose en la actualidad, aprovechan la arquitectura llamada “*multithreading*” (hilos o “threads”, en inglés), cuya idea se explica a continuación. En sistemas operativos, un hilo de ejecución o subproceso es una característica que permite a una aplicación realizar varias tareas a la vez, es decir, concurrentemente. Los distintos hilos de ejecución comparten una serie de recursos tales como el espacio de memoria, los archivos abiertos, situación de autenticación, etc. Esta técnica permite simplificar el diseño de una aplicación que debe llevar a cabo distintas funciones simultáneamente.

Hacia la “Virtualidad Real”

Es el nombre del proyecto que desarrollan conjuntamente científicos de las universidades de Warwick y de York. Según David Howard, uno de los tres científicos líderes del proyecto, se quiere crear “*una experiencia real en la que todos los sentidos*



*sean estimulados a la vez de tal manera que el usuario logre una experiencia sensorial completa en la que no pueda decir si fue real o no*¹⁶. Se estimularían los cinco sentidos a

¹⁵ Renderizar: (render en inglés) es un término usado en la jerga informática para referirse al proceso de cálculo desarrollado por un ordenador al generar una imagen 2D a partir de un modelo o escena 3D. Este término técnico es utilizado por los animadores o productores audiovisuales y en programas de diseño en 3D. La traducción más fidedigna es *interpretación*, aunque se suele usar el término inglés. Así podría decirse que en el proceso de renderización la computadora interpreta la escena en tres dimensiones y la plasma en una imagen bidimensional.

la vez mediante un casco, al contrario de lo conseguido hasta la fecha donde casi siempre son el oído y la vista los principales receptores de la información.

Un casco como el de la imagen es el que señala Marina Boj, física argentina de la Universidad de Bradford participante del proyecto cuando comenta *“Nuestro proyecto consiste en concentrar todos estos estímulos en un casco parecido a éste”*¹⁷. La idea se presentó en Londres en la feria tecnológica Pioneers 09, dónde se muestran las más avanzadas investigaciones científicas desarrolladas en Gran Bretaña. Este tipo de dispositivos son la antesala del implante neuronal o la inducción cerebral con la que *“se podrá generar la experiencia de viajar a Marte sin moverse del sofá”*.

“Desafío Total”: RV flotante y en el Cerebro

HelioDisplay es un novedoso sistema de visualización interactivo que genera imágenes 3D en el aire como si fueran hologramas, utilizando tecnología láser. Se conecta a la TV, el PC o el DVD y permite interactuar con las imágenes utilizando la mano y los dedos, sin ratón.



Al hilo del título de este epígrafe, el mismo que el de la película protagonizada por Arnold Schwarzenegger en el año 1990 donde al artista le “introducen recuerdos” en su mente, sin haberlos experimentado en la vida real, es importante señalar que la compañía Sony registró en el año 2005 la patente para crear mundos virtuales en el interior del cerebro

¹⁶ www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1159206/The-headset-mimic-senses-make-virtual-world-convincing-real-life.html

¹⁷ Ídem

humano¹⁸. Se trataría de una técnica no invasora que no utiliza implantes cerebrales ni cirugía, consistente en la estimulación de las neuronas asociadas a la percepción mediante pulsos de ultrasonido.

La técnica para lograrlo aun no está desarrollada, aunque sí diseñada y debidamente patentada. Una persona sería capaz de ver una película que en realidad sólo es proyectada dentro de su cerebro y la percibiría con un realismo jamás alcanzado hasta el momento, ya que el sujeto podría, además de ver las escenas, oler, gustar y sentir sensaciones de la misma forma que lo haría en la vida real. El proyecto se apoya en La Neurología argumentando que, en teoría, es posible provocar artificialmente las señales, símbolos y signos que utiliza el cerebro para percibir la realidad.¹⁹

La creación de “*experiencias sensoriales*” de este tipo podría ser un avance sustancial desde el punto de vista de nuevas maneras de conocer y mostrar la realidad, aunque sea virtual o simulada, ya no sólo en lo que respecta a la publicidad, como podría preverse, sino directamente en la vida de las personas que, por ejemplo, tienen dificultades olfativas o de visión.

La gran pregunta es: ¿puede registrarse o patentarse algo que es un derecho humano?, en otras palabras, ¿se puede ostentar el derecho a recuperar una capacidad tan consustancial con la vida humana, como es una percepción sensorial?. Urge analizar qué clase de inconvenientes éticos, jurídicos y legales, podría generar ese registro de patente si lo que se está planteando es, por ejemplo, la posibilidad de devolverle la vista a una persona.

¹⁸ www.newscientist.com/article/mg18624944.600. Año 2005. Autores: Jenny Hogan y Barry Fox.

¹⁹ Ídem

¿La Televisión del futuro? Internet

"Debemos aventurarnos en los límites de lo imposible para conocer lo posible"

(Arthur C. Clarke)

Ya se ha superado la velocidad de transferencia de datos de 114 Gbps (Gigabytes por segundo), entre sistemas de almacenamiento de información, a través de internet, gracias a un equipo de investigadores del CALTECH (California Institute of Technology)²⁰, por tanto la posibilidad de una transmisión con mayor calidad de información gráfica 3D (procedente de imagen real o infográfica) está siendo cada vez más efectiva y masiva, con lo que puede llegar a un mayor número de hogares y a zonas remotas en las que la recepción hasta ahora era defectuosa o casi nula.

El puertorriqueño Tomás López-Pumarejo, experto en comunicación audiovisual, profesor de Nuevos Medios del Brooklyn College de Nueva York (EU), ha pronosticado para el año 2017 que la población mundial verá más telenovelas y series a través de dispositivos móviles que por televisión, con una consiguiente adaptación de los diferentes formatos de recepción. López-Pumarejo mantiene que, *"una serie de éxito alcanza como mínimo una audiencia diez veces mayor, si se emite por web, a las que se accede por móviles u ordenadores, que por televisión"*²¹.

Los expertos prevén para el año 2020, en Japón, el desarrollo de una televisión que permita ver imágenes en 3D desde cualquier ángulo, tocar los objetos que aparezcan y olerlos, es decir, interactividad y sensación de realismo total. Las *"comunidades virtuales"* ya son una realidad. La videoconferencia será sustituida por salas virtuales en la que los

²⁰ <http://supercomputing.caltech.edu/abstract.html>

²¹ Diario digital La Crónica de Hoy. [www.cronica.com.mx/nota.php?id_notas=531899] 14 septiembre de 2010

personajes, conocidos como avatares que representan a usuarios del mundo real charlarán e intercambiarán información de una forma natural como si todos ellos estuviesen presentes en la misma estancia. De hecho, esto ya se está produciendo²².

Internet nos “*envolverá*” en todo momento, en la casa, el trabajo, durmiendo, etc.. Será un medio de comunicación global que conseguirá almacenar, interpretar, decidir y evolucionar con la información que todos aportemos. Será una conciencia colectiva digital. La evolución es inevitable. Solo falta que la sociedad se prepare para recibir el cambio.

Reflexiones sobre el futuro

Zach Rosen (*diseñador e investigador de la NYU*) dice que: “*Es esencial recordar que el realismo y la credibilidad son dos entidades distintas e independientes. Diseñar un espacio realista te obliga a establecer una constante comparación entre tu trabajo y su contrapartida en el mundo real*”²³.

Ray Kurzweill, científico americano aclamado como "*The restless genius*" por el Wall Street Journal, y "*The Ultimate Thinking Machine*" por la revista Forbes²⁴, sostiene que en varias décadas podremos vivir en entornos de RV compartida que integrarán todos los sentidos -es decir un CAVE potenciado-, gracias a nanorobots implantados en el cerebro.

Cada 18 meses, la velocidad de procesamiento de los PC's se duplica. Esto quiere decir que, quizá, dentro de unos 20, 50 ó 100 años, seamos capaces de convivir simultáneamente entre nuestra verdadera realidad y simulaciones paralelas de nuestro

²² <http://www.teleplace.com>

²³ Gauthier, Jean-Marc. *Diseño animado interactivo en 3D*. 2005. Ed. Anaya Multimedia

²⁴ www.kurzweiltech.com/aboutray.html

entorno, indistinguibles al ojo humano. Cabe innovar, seguir investigando, seguir creando nuevas aplicaciones y soluciones tecnológicas y se debe entonces reflexionar: *¿el mundo real siempre será “más real”?*

Conclusiones

En un futuro no lejano, la RV dejará de ser un recurso tradicional y casi exclusivo de la comunidad científica, los gobiernos mejor equipados tecnológicamente, o las películas de ciencia ficción, para comenzar a formar parte de nuestro entorno, de nuestras vidas, convirtiéndose en una extensión de nosotros mismos, e incluso en una parte de nuestra mente. Habrá impregnado nuestro cuerpo y se habrá fundido con internet, serán una misma cosa. *“¿Seremos una prolongación de la Web, en lugar de la Web una prolongación del Hombre?”*²⁵, se pregunta Ana María Llopis.

El ser humano evoluciona a ser tecnológico, es decir, la evolución natural del ser humano es la hibridación de la Naturaleza y la Tecnología, y esta evolución humana recurre a la Tecnología para acelerar la capacidad intelectual y de autoconciencia de nuestro cuerpo con el fin de llegar a ser cada vez más grande, a través de nuestro neocórtex. Los avances científicos y tecnológicos hacen emerger las capacidades creativas y cognitivas, quizá ocultas, innatas del usuario, lo que redundará en nuevas herramientas más “amigables” para que él mismo pueda desarrollar entornos sensoriales más indistinguibles a los cinco sentidos.

Este artículo señala que la Tecnología siempre mejora nuestra calidad y manera de sentir la vida, y que la Realidad Virtual además, potencia nuestra imaginación y libera

²⁵ ciclododebates.fundacion.telefonica.com/ana-maria-llopis

nuestra mente, porque es capaz de sumergirnos en un entorno completamente emocional y hacernos experimentar -trayendo al presente-, aquellas sensaciones que no podemos alcanzar de otro modo en este momento concreto de nuestra existencia. Llegando, tal vez, al momento en que, quizá, no seamos capaces, ni seamos conscientes de separar lo que llamamos verdadera realidad de lo que hasta ahora ha sido un “real” mundo virtual, donde la creatividad del ser humano no necesite herramientas externas adicionales para desarrollarse sino que el propio autoconsciente y el pensamiento más puro conformen el verdadero pincel que dibuje los trazos sobre un mundo multisensorial totalmente cambiante con cada nueva conexión sináptica²⁶.

Glosario

3D: Tridimensional, tres dimensiones.

- **Háptica**, estrictamente hablando significa todo aquello referido al contacto, especialmente cuando éste se usa de manera activa. Algunos teóricos como Herbert Read han extendido el significado de la palabra *háptica* de manera que con ella hacen alusión por exclusión a todo el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo.
- **Inmersivo:** Acción de introducir o introducirse plenamente alguien en un ambiente determinado (DRAE).
- **Interactivo:** Dicho de un programa: Que permite una interacción, a modo de diálogo, entre el ordenador y el usuario (DRAE).
- **PC:** Personal Computer. Ordenador personal

²⁶ La sinapsis es una unión intercelular especializada entre las células cerebrales, llamadas neuronas, en la que se lleva a cabo la transmisión del impulso nervioso.

- **RV:** Realidad Virtual
- **Simulación:** Acción de representar algo, fingiendo o imitando lo que no es (DRAE). Según Shannon, Robert; Johannes, James D. (1976). «Systems simulation: the art and science». IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, este concepto se puede definir así: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema".
- **Sinapsis:** Unión intercelular especializada entre las células cerebrales, llamadas neuronas, en la que se lleva a cabo la transmisión del impulso nervioso. También, relación funcional de contacto entre las terminaciones de las células nerviosas. (DRAE)
- **Nano:** (Símbolo: n) es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10 elevado a -9, y confiere a la palabra a la que precede el valor resultante de dividir el tamaño de la misma entre un 1 seguido de 9 ceros (es decir, mil millones) con lo que la miniaturiza. Como por ejemplo: nanosegundo, sería la mil millonésima parte de un segundo)

Bibliografía

- PÉREZ MARTÍNEZ, FRANCISCO JAVIER (2006). La Tecnología de la Realidad Virtual: Hoy y Mañana. Ciclos Complutenses Ciencia y Tecnología.
- GAUTHIER, JEAN-MARC. Diseño animado interactivo en 3D. 2005. Ed. Anaya Multimedia.
- NEGROPONTE, Nicholas: El mundo digital. 1995. Ediciones B.

- SACRISTÁN, ALEJANDRO.1990. www.artfutura.org/v2/pasteditions.php?idcontent=8&mb=2
- ALCANIZ, MARIANO. Real Time Changing Virtual Environments: A New Tool for Virtual Therapy (Medical Image Computing Laboratory – UPV).
- INCERA, D. JOSÉ A. (2007). Nuevas Interfaces y sus Aplicaciones en las Tecnologías de Información y Comunicaciones. Laboratorio de Redes Avanzadas. Instituto Tecnológico Autónomo de México.
- KAUFMANN, HANNES. General Training of Spatial Abilities by Geometry Education in Augmented Reality General. Group Vienna University of Technology.
- CRUZ-NEIRA, CAROLINA; SANDIN, DANIEL J.; DEFANTI, THOMAS A.. Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. Electronic Visualization Laboratory (EVL). The University of Illinois at Chicago.
- MARIO A. GUTIÉRREZ A.; FRÉDÉRIC VEXO ;DANIEL THALMANN. Stepping into Virtual Reality (2008). Ed. Springer.
- BURDEA, GRIGORE. Force and touch feedback for Virtual Reality. 1996. New York.
- BURDEA, GRIGORE C. and COIFFET, PHILIPPE. Virtual Reality Technology (second edition). 2003. Ed. Wiley. New York
- IEEE Computer Society. Real Time Interaction with Complex Models. 2007
- CHAD GREGORY and WALKER ERIC. Game Modeling Using Low Polygon Techniques. 2001. Ed. Charles River Media.
- SHIRLEY, PETER. Fundamental of Computer Graphics. Second edition. 2005. Ed. A K Peters.
- ENGEL, KLAUS. Real Time Volume Graphics. 2006. Ed. A K Peters.
- STAMPE, DAVE. Realidad Virtual, Creaciones y Desarrollo. 1993. Ed. Anaya Multimedia.
- LIMONCHI, MANUEL VIÑAS. Técnicas de Infografía. 2000. Ed. McGraw Hill.

- VIRTUAL REALITY, Second International Conference ICVR, 2007. Proceedings. Ed. Springer.
- GRADY, SEAN M., Virtual Reality, new edition.2003. USA. Ed. Facts on File
- Imágenes: Creative Commons.

Webs consultadas:

www.impact4d.net	www.esa.int
www.antycipsimulation.com	www.plataformasinc.es
www.innovex4g.com	mundovirtualdelaciencia.wordpress.com
es.wikipedia.org	web.mit.edu
www.t-systems.es	www.diguy.com
www.cg4tv.com	www.vrac.iastate.edu
www.planetside.co.uk	www.vector001.com
www.google.com	www.innovex4g.com
www.educacontic.es	www.polhemus.com
ucsdnews.ucsd.edu	www.quest3d.com
www.tendencias21.net	www.5dt.com
mundovirtualdelaciencia.wordpress.com/	www.layar.com
www.cardioanatomy.com/index.htm	www.totemcat.com
www.fabricat.com/www.sony.es	www.cim.mcgill.ca/~yon/
www.kurzweilai.net	www.wikitude.org