

Sistemas inmersivos y su aplicación en la educación desde una perspectiva de visualización de la información: un análisis sistemático

Adolfo López Magaña

Juan Manuel Galindo

Guillermo Hiriart Camacho

Norma Guadalupe Maldonado Santos

Yadira Alatríste Martínez

Resumen

El presente manuscrito es resultado de una revisión bibliográfica sobre los sistemas inmersivos (SI), su ubicación dentro del continuo realidad-virtualidad y su definición de acuerdo con su grado de inmersión, presencia e interacción. Se describe la utilidad de los SI en distintas áreas, donde su principal enfoque es la finalidad educativa. De la misma manera se muestra que, desde la perspectiva de la visualización de la información, se puede potenciar el desarrollo de estímulos a través de metodologías recientes asociadas al diseño centrado en el usuario. Éstas fundamentan el proceso de diseño de visualización a través de técnicas, herramientas y metodologías que pueden adaptarse tomando en cuenta necesidades de usabilidad y accesibilidad de estos sistemas.

Fecha de recepción: enero 2023

Fecha de aceptación: abril 2023

Versión final: mayo 2023

Fecha de publicación: agosto 2023

Palabras clave: Sistemas inmersivos, realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta, visualización de la información.

Abstract

This paper is the outcome of a bibliographic review regarding Immersive Systems (SI), their location within the reality-virtuality continuum and their definition in accordance with their immersion degree, presence and interaction. SI utility in several areas is described with education being the main focus. In like manner it is shown that, from the data visualization point of view, stimulus development can be potentialized through recent methodologies associated with user-centered design. These methodologies base the visualization design process through adaptable techniques, tools and methodologies considering usability and accessibility needs in these systems.

Keywords: Immersive system, virtual reality, augmented reality, mixed reality, data visualization.

Introducción

Los SI son un conjunto de tecnologías que mezclan lo físico con lo virtual y que ofrecen experiencias totalmente interactivas e inmersivas, las más comunes son la realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (MR). Mientras que la AR superpone objetos y lugares físicos con contenido virtual, la VR suele ser una experiencia más inmersiva que implica manipulación e interacción con objetos virtuales en un entorno totalmente virtual y la MR es una mezcla entre estas dos.

Metodología

Para este escrito, se realizó una exploración de textos académicos relacionados con los SI y su uso en el campo de la educación, se revisaron las bases de datos Springer, ACM, IEEE, Scopus, ScienceDirect, Taylor &

Francis y Wiley, Google Académico y Web of Science, la selección de la literatura incluyó referencias de los últimos diez años, a excepción de algunas referencias obligadas con antigüedad. Para la búsqueda se usaron y combinaron conceptos como sistemas inmersivos, realidad extendida, realidad virtual, realidad mixta, realidad aumentada, inmersión, interactividad, visualización de la información y educación.

Sistemas inmersivos

La realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (MR) son consideradas SI en su conjunto, a pesar de que sólo la VR es totalmente inmersiva porque sitúa a los usuarios en mundos completamente virtuales, mientras que la AR y la MR integran objetos virtuales en el mundo real, por lo tanto, son parcialmente inmersivas (Liberatore y Wagner, 2021).

Según Liberatore y Wagner (2021), los SI ofrecen la capacidad de capturar nuevos datos, crear nuevas experiencias y proporcionar nuevos conocimientos mediante la creación de elementos virtuales de mundos físicos e imaginados.

Continuo realidad-virtualidad

El gran aporte de Milgram *et al.* (1995) es el continuo realidad-virtualidad (Figura 1), donde se ubica, en un extremo, el entorno real; en el otro, el entorno virtual (mejor conocido como realidad virtual); en medio, más cercano al real, la realidad aumentada y, más cercano al virtual, la virtualidad aumentada. Todo este espectro dentro de los dos extremos se denomina realidad mixta.

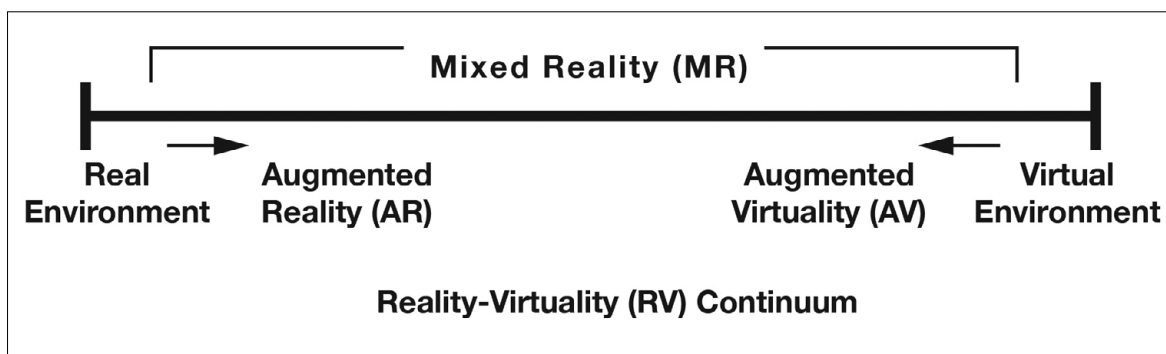


Figura 1. Representación simplificada del continuo realidad-virtualidad [Imagen].

Fuente: Milgram *et al.* (1995).

Realidad virtual

Resulta curioso que, en el interés por ubicar la realidad aumentada en esta clase más amplia de tecnologías que denominan realidad mixta, Milgram et al. (1995) definen más ampliamente los extremos de su continuo, el entorno real y el virtual:

La visión común de un entorno de realidad virtual es aquella en la que el observador participante está totalmente inmerso en un mundo completamente sintético, que puede o no imitar las propiedades de un entorno del mundo real, ya sea existente o ficticio, pero que también puede superar los límites de la realidad física creando un mundo en el que las leyes físicas que rigen la gravedad, el tiempo y las propiedades materiales ya no se cumplen. En cambio, un entorno estrictamente real debe estar claramente limitado por las leyes de la física. (Milgram et al., 1995)

En una definición clásica de un referente, recurrente pero propio de la VR, Schroeder (1996) afirma que un entorno virtual o tecnología de realidad virtual es “una pantalla generada por computadora que permite u obliga al usuario (o a los usuarios) a tener la sensación de estar presente en un entorno distinto al que se encuentra realmente y a interactuar con ese entorno” (p. 25).

Adicionalmente, destaca una definición más reciente y concreta, propuesta por Sacks et al. (2013), que señala que la realidad virtual “es una tecnología que utiliza ordenadores, *software* y *hardware* periférico para generar un entorno simulado para su usuario” (p. 1007).

Realidad aumentada

Algunos autores como Azuma et al. (2001) definen la realidad aumentada como un sistema que “complementa el mundo real con objetos virtuales (generados por computadora) que parecen coexistir en el mismo espacio que el mundo real” (p. 34); afirman que existen tres propiedades que cualquier sistema debe cumplir para considerarse realidad aumentada: 1) combinar objetos reales y virtuales en un entorno real, 2) correr interactivamente y en tiempo real, y 3) registrar (alinear) objetos reales y virtuales entre sí.

Para Javornik (2016), la realidad aumentada es:

Una tecnología interactiva que modifica el entorno físico con elementos virtuales superpuestos. Esta capa virtual, situada entre los entornos físicos y el usuario, puede añadir información textual, imágenes, vídeos u otros elementos virtuales a la visión que la persona tiene del entorno físico. (pp. 252-253)

Del mismo modo, Carmigniani *et al.* (2011) definen la AR como “una visión directa o indirecta en tiempo real de un entorno físico del mundo real que ha sido mejorado/aumentado añadiendo información virtual generada por computadora” (p. 342).

Realidad mixta

Como se menciona en un apartado anterior, Milgram *et al.* (1995) ubican la AR dentro del espectro de la MR, sin embargo, algunos autores distinguen ambos conceptos y definen la MR como una mezcla de AR y VR, debido a que permite la interacción entre los contenidos físicos y los virtuales. Según Kumar *et al.* (2017), el término *entorno de realidad mixta* pretende incluir, sin limitarse a tal, un dominio visual en el que un usuario del mundo real puede interactuar con objetos sintéticos integrados en su vista del mundo real.

Parveau y Adda (2018) proponen un método de clasificación llamado 3iVClass, basado en tres criterios: inmersión, interacción e información para definir de forma clara y objetiva los paradigmas de VR, AR y MR. Con base en esta clasificación, definen la MR como:

Un paradigma que combina tecnologías que, mediante el mapeo del espacio del usuario, muestran contenidos virtuales incrustados en 3D y registrados en el espacio y el tiempo. Los objetos virtuales pueden situarse en relación con el entorno real, el usuario o cualquier otro objeto virtual o físico. Además, la experiencia de realidad mixta debe estar centrada en el usuario y ofrecer interacciones naturales e inmediatas (p. 269).

Aspectos funcionales de los SI

En las diversas definiciones de los SI, en su conjunto y por separado, existen tres palabras recurrentes que son aspectos clave para la experiencia inmersiva: inmersión, presencia e interacción. La inmersión es “la capacidad de recrear fidedignamente un ambiente y, en algunos casos, a nosotros mismos” (Vásquez Carbonell y Silva-Ortega, 2020, p. 39). Bowman y McMahan (2007) afirman que “la inmersión es objetiva y medible: un sistema puede tener un nivel de inmersión mayor que otro”. Del mismo modo, se habla de inmersión mental cuando el usuario se entrega a la experiencia inmersiva y se olvida o desvincula de la realidad, en este nivel de inmersión, se puede encontrar casi cualquier medio, como la música, un libro o una película. Asimismo, la inmersión física es propia de los SI y se caracteriza por estimular simultáneamente los sentidos mediante la tecnología para dar la sensación de corporalidad o de presencia (Sherman y Craig, 2019).

Por otro lado, la presencia es una sensación psicológica compleja que implica la sensación y la percepción de la presencia física, así como la posibilidad de interactuar y reaccionar como si el usuario estuviera en el mundo real (Cipresso *et al.*, 2018). Fundamentalmente, la noción de presencia gira en torno a la percepción de estar físicamente presente en un mundo no físico (Liberatore y Wagner, 2021). De tal manera que la retroalimentación sensorial determina una posición física-espacial y para este fin también puede haber un rastreo de posición y/o movimiento real de objetos y/o usuarios (Sherman y Craig, 2019).

Por lo tanto, la inmersión es una característica objetiva de la tecnología, mientras que la presencia es una respuesta subjetiva del usuario a la tecnología (Liberatore y Wagner, 2021). De modo que la interacción se refiere simplemente a la respuesta a una acción (Sherman y Craig, 2019), que en SI puede referirse a la capacidad del usuario de manipular y modificar el entorno y sus elementos para obtener retroalimentación de ello o a la capacidad de que el entorno actúe sobre el usuario y obtenga retroalimentación de ello (Vásquez Carbonell y Silva-Ortega, 2020).

Por último, la interacción es un aspecto clave que actualmente sustituye en importancia a la fidelidad (Milgram *et al.*, 1995). Durante los últimos treinta años, los esfuerzos de investigación y desarrollo estaban volcados a lograr una mejor resolución y percepción, actualmente los esfuerzos se concentran en crear experiencias inmersivas más realistas a través de una mejor interacción (Cipresso *et al.*, 2018).

Clasificación de los SI

Cierto es que diversos autores han propuesto metodologías y directrices para clasificar los SI siguiendo diferentes criterios. Cabe señalar que, aunque algunas taxonomías son de la década de 1990, siguen teniendo vigencia y, además, son extraídas de textos que siguen siendo citados actualmente en el estudio de la realidad aumentada. Por consiguiente, Holloway y Lastra (1993) proponen una clasificación por tipo de dispositivos y los sentidos que estimulan, principalmente dividen los sistemas en tres categorías: visuales, auditivos y hápticos.

Los sistemas visuales son aquellos que “proveen imágenes de objetos virtuales a los ojos de los usuarios y que reemplazan o aumentan el ambiente real”. Éstos utilizan tres tipos de dispositivos: basados en monitores (no inmersivos), montados en cabeza (inmersivos) y montados en brazos —lentes montados en brazos mecánicos sobre la cabeza— (semi-inmersivos). No obstante, los sistemas auditivos “proporcionan retroalimentación auditiva al usuario que reemplaza o aumenta la entrada auditiva proveniente del ambiente real”, existen dos: audífonos (bocinas directas a los oídos) y bocinas en el ambiente. Por último, existen los sistemas hápticos que se basan en “aplicación y medición de fuerza sobre y desde el usuario”. Dentro de esta categoría entran *joysticks*, dispositivos exoesqueléticos y dispositivos táctiles.

Otra clasificación, propuesta por Biocca y Delaney (1995), está basada en la información que los dispositivos proporcionan a través de los canales sensoriales. Proponen cuatro categorías: dispositivos visuales, dispositivos auditivos, dispositivos hápticos y dispositivos nasales. Entre los dispositivos visuales incluyen los dispositivos montados en la cabeza como *head mounted displays* (HMD); técnicas alternativas de proyección, que van desde la proyección en IMAX hasta las imágenes escritas directamente en la retina (*direct retinal write display*, DRW); y los dispositivos generados vía láser, los cuales también dibujan la imagen directamente en la retina.

En cuanto a los dispositivos auditivos, la categoría es dividida en sonido estereofónico, el cual llega a los dos oídos del ser humano mediante los audífonos tradicionales, y los espacios auditivos virtuales con enfoque en la cabeza del usuario con múltiples fuentes de audio cuya cantidad se define con relación al tamaño del espacio físico.

La tercera categoría, los dispositivos hápticos, son aquellos que dirigen la información hacia el tacto. En esta categoría entran los dispositivos táctiles, específicamente los que se utilizan con la palma y los dedos de la mano; los dispositivos de simulación neumática que ejercen presión en la piel por medio del aire; los dispositivos de estimulación vibrotáctil, en los cuales pequeñas piezas mecánicas estimulan la piel; los dispositivos de estimulación electrotáctil que través de electrodos producen pulsos eléctricos; y los dispositivos de estimulación neuromuscular funcional, con los que se busca estimular de manera directa el sistema nervioso.

Por último, los autores mencionan la categoría de los dispositivos nasales, aun cuando los sentidos del gusto y del olfato son poco explorados en los ambientes virtuales. Sin embargo, existen algunos experimentos o ambientes en los cuales se rocían o atomizan aromatizantes que refuerzan la experiencia en un espacio específico.

Como se puede observar en ambas taxonomías, los sentidos son un referente importante cuando se trata de tecnología de inmersión; sin embargo, no todos los sentidos tienen el mismo peso en cuanto a la percepción de información por parte del usuario y, de la misma manera, cada uno genera diferente grado de complejidad en cuanto a diseño y control de los dispositivos, es por esto que otras clasificaciones propuestas se enfocan en el sentido de la vista.

Por otro lado, autores como Milgram *et al.* (1994) sentaron su primera clasificación de la realidad virtual basándose en los grados de realidad o virtualidad que utiliza cada sistema, de esta manera, el continuo abarca el espectro de la realidad extendida (XR), que va desde lo completamente real hasta lo completamente virtual, incluyendo todos los grados que hay entre ambos extremos. Presentaron un marco de referencia tridimensional para combinar mundos reales y virtuales. Este marco de referencia tiene como base tres factores: medida de conocimiento del mundo, fidelidad de reproducción y medida de presencia de metáfora. La medida de conocimiento del mundo es el grado de conocimiento previo que el usuario tiene del mundo al que va a entrar; fidelidad de reproducción se refiere al grado de realismo y a la calidad de las imágenes proyectadas; por último, la medida de presencia de metáfora tiene que ver con la medida en que el observador puede sentirse presente dentro de la imagen que está observando.

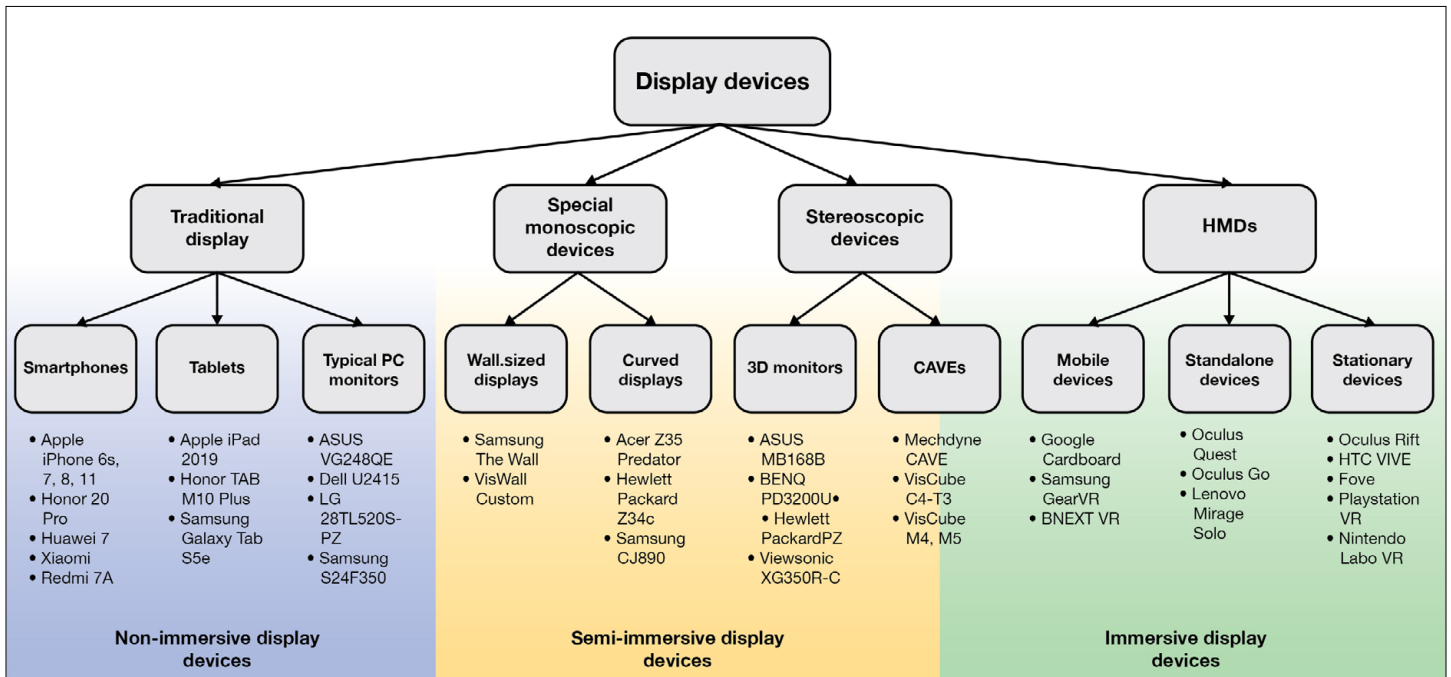


Figura 2. Taxonomía de los sistemas de visualización actuales, organizado en un espectro que va de los tipos de dispositivos no inmersivos a los inmersivos [Imagen].

Fuente: Çöltekin *et al.*, 2020.

En un trabajo derivado, Milgram y Takemura (1994) presentan una taxonomía más detallada con base en cuatro parámetros: la generación de gráficos, la manera en la que el observador percibe, el punto de vista del espectador y la escala en la que se presentan los gráficos, cada uno de estos parámetros posee dos valores.

En lo que se refiere a la generación de gráficos, ésta puede tener su base en video y ser aumentada con gráficos por computadora o tener la base en gráficos por computadora y ser aumentada con video. En cuanto a la manera en que el observador percibe, éste puede ver el mundo real de manera directa a través del aire o de lentes o puede hacerlo cuando los objetos reales son escaneados y procesados en un dispositivo de visualización. Sobre el punto de vista del espectador, los dispositivos de visualización pueden ser exocéntricos, monitores dispuestos rodeando al usuario, como en el caso de *window of the world* (WoW) o egocéntricos inmersivos, como los *head mounted displays* (HMD).

Por último, se pueden clasificar los dispositivos con base en la escala en que representan la información visual. Pueden ser exactos, donde la

escala es 1:1 y el mapeo, ortoscópico; en cuanto a tamaño y proporciones, inexactos en casos donde la escala pierde importancia o incluso no tiene ninguna.

Otro referente, además de los sentidos, para catalogar los SI visuales es el tipo de dispositivo a través del cual funcionan. Çöltekin *et al.* (2020) presentan una clasificación con esta base y, además, la completan con un ordenamiento de acuerdo al nivel de inmersión.

Proponen cuatro grandes rubros: dispositivos tradicionales, dispositivos monoscópicos especiales, dispositivos estereoscópicos y dispositivos montados en la cabeza. Los dispositivos tradicionales son los teléfonos inteligentes, las tabletas y los monitores típicos de computadora; éstos no se consideran inmersivos. Los dispositivos monoscópicos especiales son las pantallas del tamaño de un muro, las pantallas curvas, los monitores 3D y los CAVE o ambientes de cueva asistidos de manera virtual (*cave assisted virtual environment*); éstos se consideran semi-inmersivos, excepto por los CAVE que también entran en la categoría de inmersivos. Al final, Çöltekin *et al.* ubican a los *dispositivos montados en la cabeza* o HMD, los cuales subdividen en dispositivos móviles, dispositivos independientes *standalone* y dispositivos fijos; éstos se consideran totalmente inmersivos. La taxonomía propuesta por Çöltekin *et al.* puede observarse de manera clara en la Figura 2. Las cinco taxonomías consultadas y sintetizadas para su comparación en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación entre taxonomías de SI.

Autores	Año	Tipo de clasificación	Categorías	Subcategorías	Información adicional
Holloway y Lastra	1993	Sensorial	1. Visuales	1. Basados en monitores (no inmersivos) 2. Montados en cabeza (inmersivos) 3. Montados en brazos —lentes montados en brazos mecánicos sobre la cabeza— (semi-inmersivos)	—
			2. Auditivos	1. Bocinas 2. Bocinas en el ambiente	
			3. Hápticos	1. <i>Joysticks</i> 2. Dispositivos exoesqueléticos 3. Dispositivos táctiles	

Autores	Año	Tipo de clasificación	Categorías	Subcategorías	Información adicional
Bioca y Delaney	1995	Sensorial	1. Visuales 2. Auditivos 3. Hápticos 4. Nasaes	1. Dispositivos montados en la cabeza. 2. Técnicas alternativas de proyección. 3. Dispositivos de generación vía láser. 1. Estereofónico. 2. Espacios auditivos virtuales. 1. Dispositivos táctiles. 2. Dispositivos de simulación neumática. 3. Dispositivos de estimulación vibrotáctil. 4. Dispositivos de estimulación electrotáctil. 5. Dispositivos de estimulación neuromuscular funcional.	—
Milgram, Takemura, Utsumi y Kishino	1994	Con base en el continuo realidad-virtualidad	1. Realidad 2. Realidad extendida 3. Virtualidad	—	Tres factores de medición: 1. Medida de conocimiento del mundo. 2. Fidelidad de reproducción. 3. Medida de presencia de metáfora.
Milgram y Takemura	1994	Multifactorial	1. Generación de gráficos. 2. La manera en la que el observador percibe. 3. El punto de vista del espectador. 4. La escala en la que se presentan los gráficos.	1. Base en video y ser aumentada con gráficos por computadora. 2. Base en gráficos por computadora y ser aumentada con video. 1. Puede ver el mundo real de manera directa, a través del aire o de lentes. 2. Los objetos reales son escaneados y resintetizados en un dispositivo de visualización. 1. Dispositivos exocéntricos. 2. Dispositivos egocéntricos. 1. Escala 1:1. 2. Escala inexacta o incluso irrelevante.	—

Autores	Año	Tipo de clasificación	Categorías	Subcategorías	Información adicional
Çöltekin, Lochhead, Madden, Christophe, Devaux, Pettit, Lock, Shukla, Herman, Stachoň, Kubíček, Snopková, Bernardes y Hedley	2020	Dispositivo de funcionamiento	1. Dispositivos tradicionales.	1. Teléfonos inteligentes. 2. Tabletas. 3. Monitores típicos de computadora.	No inmersivos
			2. Dispositivos monoscópicos especiales.	1. Pantallas del tamaño de un muro. 2. Pantallas curvas. 3. Monitores 3D. 4. CAVE*.	Semi inmersivos
			3. Dispositivos estereoscópicos.		
			4. Dispositivos montados en la cabeza.	1. Dispositivos móviles. 2. Dispositivos independientes o <i>standalone</i> . 3. Dispositivos fijos.	Inmersivos (*Los dispositivos CAVE también pueden considerarse inmersivos)

Fuente: Elaborada a partir de la información de Biocca, F. y Delaney, B., 1995; Çöltekin, A. *et al.*, 2020; Holloway, R. y Lastra, A., 1993; Milgram *et al.*, 1994; y Milgram, P. y Takemura, H., 1994.

Áreas de aplicación

Los SI en la actualidad son cada vez más utilizados e investigados en distintos sectores industriales, debido a que ayudan a minimizar errores de fabricación de distintos objetos, además, acercan a los individuos a ambientes artificiales seguros, con motivo de una simulación de la actividad, experimentación, exploración o que requieren de una capacitación intensiva. De esta manera, se pueden probar artefactos, objetos de experimentación o procesos sin riesgos, con la oportunidad de mostrar errores comunes o la visualización de los riesgos que éstos provocan. También, se pueden observar los beneficios aplicados con fines educativos, que permiten aplicar métodos y metodologías innovadoras con el objetivo de mejorar la enseñanza y brindar una preexposición a la experimentación. A continuación, se hace una breve descripción de tres ámbitos donde son más utilizados:

Área médica. Se han implementado en el estudio de especialidades para replicar situaciones de riesgo, principalmente en cirugías, donde es de mayor importancia mostrar los riesgos y consecuencias a los estudiantes sin la necesidad de practicar en un cuerpo humano real o como una antesala de la realización de operaciones. Al ser una de las complicaciones la falta

de conocimientos prácticos sobre los maniqués, Dhruvi Rupareliya *et al.* (2021) menciona la relevancia de los SI en la medicina:

La aplicación de Realidad Aumentada y Realidad Virtual supera con éxito estas limitaciones, ya que proporciona un entorno virtual y un modelo humano virtual tridimensional en el que los estudiantes de medicina pueden practicar y realizar procedimientos médicos. (p. 2)

Sector industrial. Las áreas con mayor aplicación son la ingeniería y la robótica, pues permiten el análisis del comportamiento de modelos experimentales con el fin de examinar el rendimiento, composición, movilidad, ensamblaje o desempeño. Estas representaciones de actividades simuladas dan pie a la experimentación sin riesgo humano y de capital, sobre todo en la etapa de capacitación o en la educativa. La seguridad laboral y pedagógica es una de las áreas en las que ha dado resultado, al tener los peligros siempre presentes debido a la maquinaria pesada, los accidentes de las personas se han vuelto algo común, pero gracias a la simulación se disminuye el riesgo que en un entorno real que no podría evitarse. Un ejemplo de esto, es la empresa española ER Industria 4.0® que, a través de gafas de realidad aumentada, tabletas o *smartphones*, ofrece programas formativos para la prevención de riesgos laborales y capacitaciones para reconocer las maquinarias previo a la intervención por parte del personal técnico o para empezar el recorrido de las plantas industriales antes de visitarlas.

Educación. Es evidente mostrar la zona de seguridad porque permite la incentivación y no el miedo a los errores, dichas prácticas permiten a los estudiantes enfrentarse no sólo a la situación, sino a las múltiples posibilidades de equivocaciones que los ayuden a llegar a diferentes posibilidades de solución. A manera de ejemplo, en las escuelas de Medicina pueden aprender a realizar una traqueotomía sin el miedo a los accidentes o buscándolos a propósito para enfrentar la catástrofe. Por otro lado, los pilotos de Fórmula 1 mejoran su formación con ayuda de la realidad mixta, misma que les permite experimentar en el aprendizaje al probar la sensación de velocidad en posibles modificaciones a sus automóviles. Pero también apoya en la parte exploratoria y ubicua, con la posibilidad de visitar un museo, ruinas y lugares históricos muchas veces fuera del alcance de las personas o de difícil acceso, por ejemplo, mediante un recorrido virtual del Museo del Louvre.

SI aplicados a la educación

En un principio los estudios en SI fueron mínimos, debido a que la implementación de estos sistemas alternativos tenía altos costos por los dispositivos requeridos, pero fueron creciendo gracias a la masificación de la tecnología y los avances tecnológicos en los dispositivos móviles y recursos en la nube, así como a las soluciones para reducir el costo de los dispositivos como es el caso del Google Cardboard, donde el precio accesible ha permitido incrementar las posibilidades de aplicación de los recursos con un fin educativo.

A ello contribuye el análisis biométrico realizado por Roda Segarra, Mengual Andrés y Martínez Roig, donde concluyen:

... los trabajos relacionados con la RV y la educación comenzaron en 1994, y fueron aumentando lentamente hasta el lanzamiento de Google Cardboard en 2014; este hecho produjo un rápido crecimiento en el número de publicaciones lo que demuestra el impacto de este dispositivo de bajo costo en la educación. (Segarra et al., 2022, p.164)

En este estudio se indican los países donde se ha producido mayor contenido en este tema, principalmente se ha profundizado en VR y se menciona lo siguiente: “La mayoría de los artículos se han publicado en EE. UU. seguido de China y ambos países son los únicos con más de 150 estudios” (Segarra et al., 2022, p.163). De allí que la VR aplicada en la educación ha permitido conectar a los alumnos con entornos y situaciones de difícil acceso, inaccesibles o desaparecidos en la vida real, lo que promueve el aprendizaje por exploración y descubrimiento e incentiva la adquisición del propio conocimiento mediante la interacción en un espacio virtual.

Gracias a que existen estos entornos virtuales, es posible enseñar lo que implica tareas complejas o difíciles de realizar, puesto que, en un entorno virtual, se evita el riesgo en ese tipo de actividades para poder continuar con su formación, para que los estudiantes adquieran conocimientos que los ayuden a enfrentar la vida laboral real.

Sin duda la AR permite visualizar y manipular objetos tridimensionales en favor de la formación basada en vivencias y experimentación. Esta tecnología permite a los estudiantes tener en sus manos una experiencia parecida a la realidad, sin que la teoría se quede en el imaginario o en supo-

siciones, por ello la representación les permite visualizar detalladamente lo que el docente quiere mostrar y promueve un mejor aprendizaje.

En ese sentido, la aplicación de la AR logra enriquecer el contenido porque acerca a la vida del alumno una nueva experiencia en forma de elementos 3D, 2D, videos, imágenes, texto, y otros elementos multimedia que dan la posibilidad de nuevas formas de interacción. Igualmente, permite a los docentes mostrar visualmente una realidad aplicada e información histórica situada en el lugar de los hechos, reconstrucción de edificios o monumentos. La posibilidad de acceder a la AR para ambas partes, docente y estudiante, permite la inmediatez, ya que ninguno de ellos necesita planear un viaje al extranjero para visitar una localidad de su interés, incluso se puede esperar que la lección derive en el interés por ampliar la experiencia vivencial.

Estas ventajas han sido aprovechadas por instituciones de difusión de la cultura y centros históricos desde tiempo atrás como alternativa a la búsqueda de caminos para la difusión del patrimonio cultural, centrada fundamentalmente en los museos y centros históricos.

Como puede ser el caso de aplicación de la VR aplicada en el aula, donde se plantea aplicar la tecnología en el área de química con el fin de tener herramientas que permitan una mejor comprensión, lo explica de esta manera Liliana Lerma García y su equipo (2020):

El entorno virtual recrea el torrente sanguíneo, complementado con estímulos auditivos alusivos al contexto. Una vez colocados los lentes de VR, el alumno ingresa al torrente sanguíneo, donde observa, reconoce y analiza los elementos que se encuentran a su alrededor, para proceder al armado correcto de la secuencia del sistema en una de tres posibles vías: clásica, alternativa o lectinas. (p. 116)

Ahora bien, desde el punto de vista de la enseñanza, los medios inmersivos tienen sus aportaciones como en el caso de la integración de la VR y AR en cursos de Historia, descrito por Sebastián Díaz (2018): “Al finalizar el desarrollo del prototipo, esperamos que los profesores de historia vean el juego y se involucren en el proceso mediante el uso de este, incorporando también a sus estudiantes” (p. 90), donde, de una manera visual, permite a los alumnos comprender las relaciones y adquirir una mayor comprensión.

Aplicaciones en el diseño y la visualización de la información

Desde el campo de estudio del diseño de la visualización de la información se han generado investigaciones y proyectos que fortalecen el campo de acción desde la perspectiva del diseño y aumentan la mixtura de posibilidades para complementar el desarrollo de SI. Así, se generan y analizan herramientas y metodologías que fortalecen el desarrollo de materiales capaces de generar experiencias de usuario significativas y eficaces.

Las metodologías centradas en el usuario proporcionan enfoques interdisciplinarios que reconocen la importancia e impacto del diseño de visualización para el diseño de SI considerando la implementación de herramientas tecnológicas, la interacción con estas y la evaluación de sus resultados en la experiencia de los usuarios. Así mismo, toman en cuenta no sólo las características del usuario, sino el contexto de uso y el impacto de los productos diseñados en éste.

La metodología de diseño centrado en el usuario (DCU), aparte de constituir un proceso, consolida un enfoque para proyectar una solución de diseño de visualización.

Se considera una filosofía de diseño en el sentido que su premisa es que los usuarios deben participar en todas las fases del proceso de diseño. Además, también se considera un proceso de diseño, una forma de planificar proyectos y un conjunto de métodos y técnicas que se utilizarán en cada fase. (Gondomar, 2021)

El DCU es un proceso basado en ciclos, en el que las decisiones de diseño son evaluadas constantemente en cada una de sus etapas, este enfoque tiene como eje rector la usabilidad del producto y es justo esta característica la que se evalúa de manera iterativa durante el proceso; así, este enfoque integra diversas herramientas y metodologías para planear, construir y evaluar la usabilidad de un producto de diseño.

El proceso de planificación del DCU inicia con la etapa de especificar el contexto de uso, lo que permite especificar los requisitos del proyecto para pasar a la etapa de producir soluciones de diseño y, finalmente, evaluar la propuesta. Si esta propuesta satisface los requisitos de usuario el ciclo termina, pero si aún existen áreas de oportunidad el ciclo se repite. En

este proceso, la etapa de evaluación es de suma importancia porque proporciona información para definir si el producto satisface los requisitos y necesidades, pero también porque aporta datos para reconocer patrones y estrategias aplicables a otros proyectos.

Diversos proyectos de SI han utilizado metodologías centradas en el usuario y las han adaptado mediante modelos que toman en cuenta las estrategias, herramientas y disciplinas asociadas al diseño de visualización de la información, esto favorece los procesos de diseño al ser considerados dentro de las metodologías de diseño de producto y asegura que dichos desarrollos se fundamentan en enfoques importantes desde la perspectiva de la visualización de la información tales como los de usabilidad y accesibilidad.

Un ejemplo es el proyecto desarrollado en 2020 (Segura-Ruiz y Osorio-Díaz, 2021), en el cual:

...se construyó una aplicación en realidad virtual inmersiva que cuenta con accesibilidad para personas con discapacidad visual mediante sonidos inmersivos, audio descripciones, contrastes, manejo de colores, y discapacidad auditiva con lengua de señas, imágenes de excelente calidad, contrastes y close caption. (Segura-Ruiz y Osorio-Díaz, 2021)

Este proyecto adaptó una metodología de desarrollo tomando en cuenta aspectos de metodologías ágiles para resolver el problema de accesibilidad en entornos de realidad virtual inmersiva.

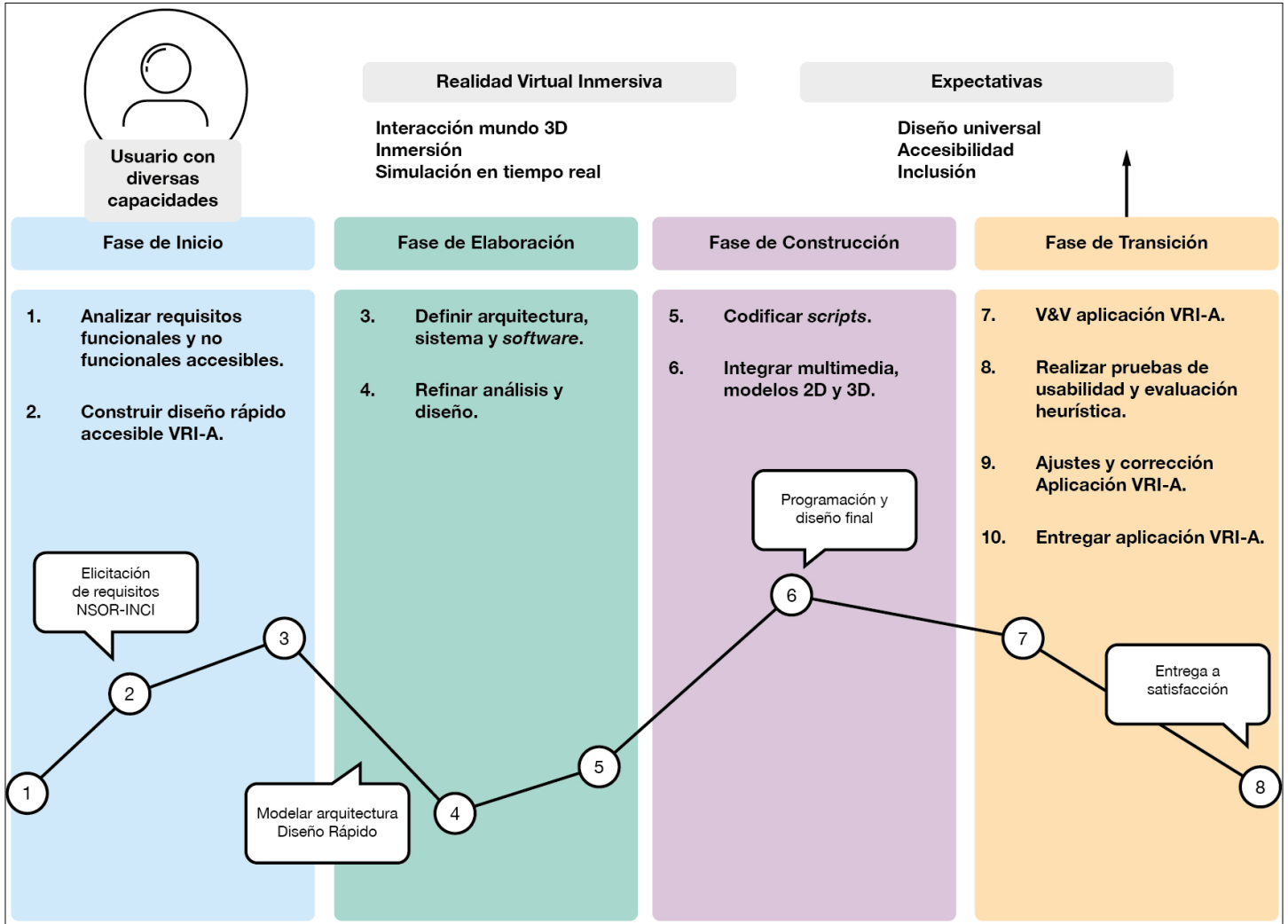


Figura 3. Fases de la metodología para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva RVI-A que cumpla los principios del diseño universal. Fuente: Segura-Ruiz y Osorio Diaz, 2021.

Por otra parte, el proyecto ImAc “explora cómo integrar eficientemente servicios de accesibilidad y tecnologías asistivas en el ámbito de los medios inmersivos, centrándose principalmente en vídeo 360° y audio espacial” (Montagud *et al.*, 2019, Resumen). Este ejemplo también adapta una metodología centrada en el usuario para el diseño y evaluación del proyecto.

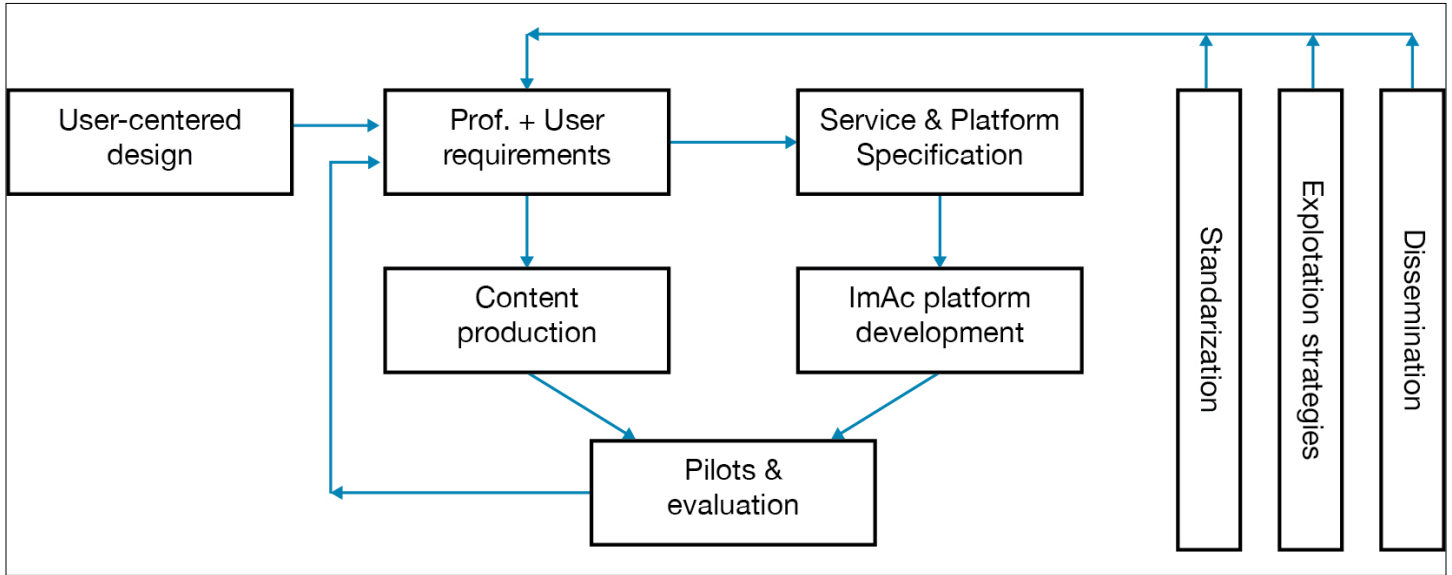


Figura 4. Metodología centrada en Usuario utilizada en ImAc. Fuente: Montagud et al., 2019.

Un ejemplo más es el sistema de simulación virtual de espacios arquitectónicos (Torres Barchino *et al.*, 2021) diseñado para evaluar el impacto en las capacidades físicas, sensoriales y cognitivas de personas de la tercera edad que atiende la ergonomía visual del usuario a través de la implementación de los estudios de color y utiliza la fotografía panorámica inmersiva para construir escenarios virtuales. En este proyecto también se integra una metodología que otorga un papel preponderante al diseño con enfoque de ergonomía visual.

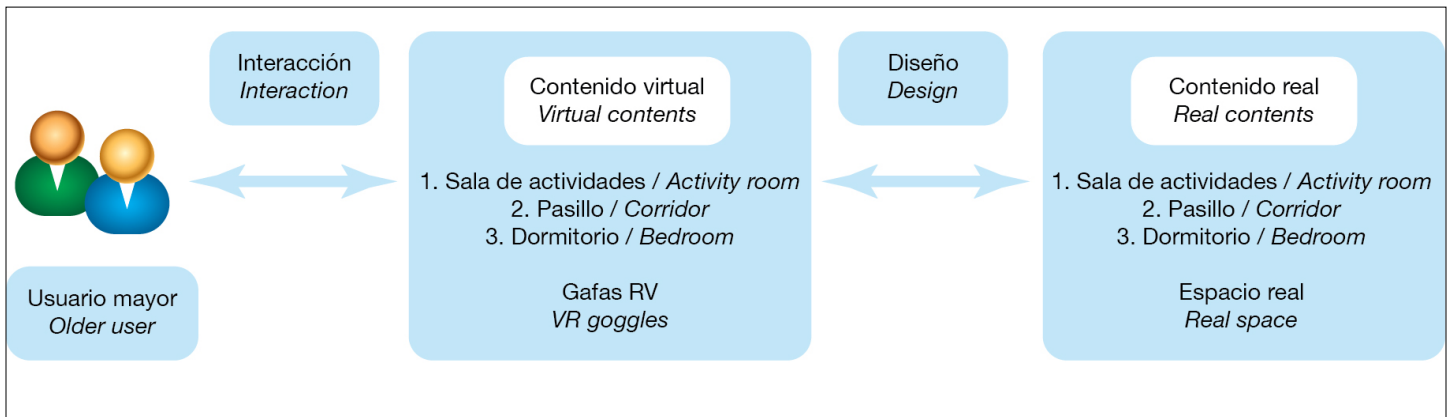


Figura 5. Metodología para el sistema de simulación virtual de espacios arquitectónicos. Fuente: Torres Barchino *et al.*, 2021.

Análisis bibliográfico y bibliométrico

Por medio de la revisión de las referencias seleccionadas se llevó a cabo un análisis de mención de conceptos y de citación de autores. Se generaron una matriz y una red de citación para encontrar relaciones entre autores y conceptos. Para este ejercicio se siguieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Se seleccionaron conceptos relevantes identificados en las secciones resumen, palabras clave e introducción de cada artículo. Se incluyeron en promedio quince conceptos de cada texto, pero dependiendo de la extensión y la estructura de éstos, en algunas ocasiones, se seleccionaron más o menos.
- En el artículo de Holloway, R. y Lastra, A. se seleccionaron conceptos en las primeras tres secciones, pues no contenía introducción ni palabras clave.
- Los conceptos se combinaron en una lista y se depuraron para eliminar repeticiones y combinar conceptos con significado idéntico.
- Para los autores se seleccionaron, en principio, todos aquellos citados en las bibliografías de la muestra de artículos revisados.
- Se excluyeron los artículos que no incluyeran en su título los conceptos “sistemas inmersivos”, “entornos virtuales”, “realidad artificial”, “realidad aumentada”, “realidad mixta” o “realidad virtual” (en español e inglés).
- Se excluyeron los textos que fueran *proceedings*.
- Debido a la gran cantidad de autores citados en los artículos de Carmigniani et al. (2011), Liberatore y Wagner (2021) y Ciproso et al. (2018), se excluyeron los que aparecieron sólo una vez.
- Para el artículo de Vásquez y Silva-Ortega (2020), con casi 600 referencias, también se excluyeron las de temáticas demasiado específicas, como ramas de la medicina o de la educación (laparoscopia, odontología, educación física, inglés...).

Con base en dichos criterios, en una hoja de cálculo se generó una matriz con 22 grupos de autores de los artículos, 516 autores citados y 168 conceptos mencionados. Dicha matriz se procesó en el programa Gephi. Éste es un *software* gratuito para la visualización y exploración de grafos

y redes. Se configuró dicho programa para generar una red de mención y cocitación utilizando parámetros de grado y modularidad.

De acuerdo con Hansen *et al.* (2020) grado (degree) es el “conteo del número de aristas únicas conectadas a un nodo” —el grado de conexiones de entrada y salida de un nodo con otros—, mientras que modularidad (*modularity*) es el “grado de diferenciación entre los subgrupos de nodos del resto de la red” —la forma en que se generan comunidades—. La red generada gracias a Gephi se presenta en la Figura 6, en ella se pueden ver las comunidades gracias a la escala de color que va del amarillo al azul; el tamaño de cada nodo representa el grado de aristas con las que tiene conexión.

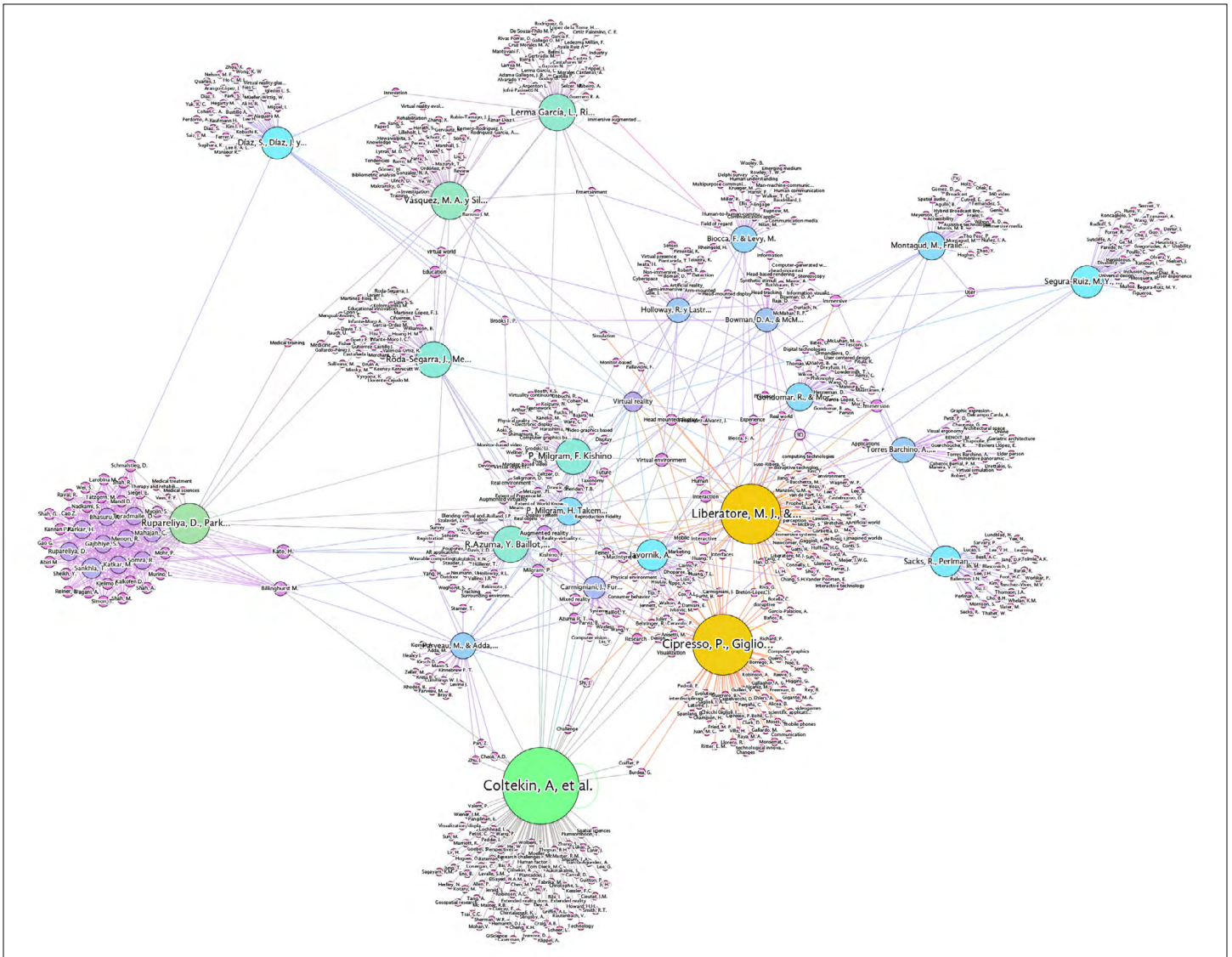


Figura 6. Red de relación y cocitación entre conceptos y autores. Fuente: elaboración propia.

Una vez que se realizaron los cálculos estadísticos en Gephi, fue posible identificar los 10 conceptos más mencionados por grado, los 10 conceptos por modularidad, así como los 10 autores o grupos de autores más relevantes por grado. La lista de éstos se presenta en la Tabla 2. Al resaltar gráficamente dichos autores y conceptos (Figura 6), es posible identificar que los conceptos y autores con mayor relevancia ocupan una posición central dentro de la red, mientras que los cercanos al exterior van disminuyendo de importancia. En la Figura 6 pueden identificarse también comunidades que investigan o tocan temas en común, las más sobresalientes son investigación, educación, aplicación en procesos industriales, así como entrenamiento médico y rehabilitación.

Tabla 2. Conceptos y autores más relevantes por grado o modularidad.

Conceptos por grado	Conceptos por modularidad	Autores por grado
<i>Virtual reality</i>	<i>Future</i>	Çöltekin, A., Lochhead, I., Madden, M., Christophe, S., Devaux, A., Pettit, C., Lock, O., Shukla, S., Herman, L., Stachoň, Z., Kubiček, P., Snopková, D., Bernardes, S., y Hedley, N.
<i>Augmented reality</i>	<i>Simulation</i>	Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., y Riva, G.
<i>Virtual environment</i>	<i>Medical training</i>	Liberatore, M. J., y Wagner, W. P.
<i>Immersive</i>	<i>Industry</i>	Rupareliya, D., Parkar, H., Katkar, M., Sankhla, T., Menon, R., Somra, R., Bhasuru, R., Mahajan, C., Gajbhiye, S., y Toradmalle, D.
<i>Interaction</i>	<i>Bibliometric analysis</i>	Vásquez, M. A. y Silva-Ortega, J. I.
<i>Mixed reality</i>	<i>Investigation</i>	Lerma García, L., Rivas Porras, D., Adame Gallegos, J. R., Ledezma Millán, F., López de la Torre, H. A. y Ortiz Palomino, C. E.
<i>Education</i>	<i>Virtual reality evolution</i>	Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., y MacIntyre, B.
<i>Head mounted display</i>	<i>Knowledge</i>	Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., y Kishino, F.
<i>Research</i>	<i>Papers</i>	Roda-Segarra, J., Mengual-Andrés, S., y Martínez-Roig, R.
<i>Experience</i>	<i>Rehabilitation</i>	Segura-Ruiz, M. Y., y Osorio-Díaz, R.

Fuente: elaboración propia.

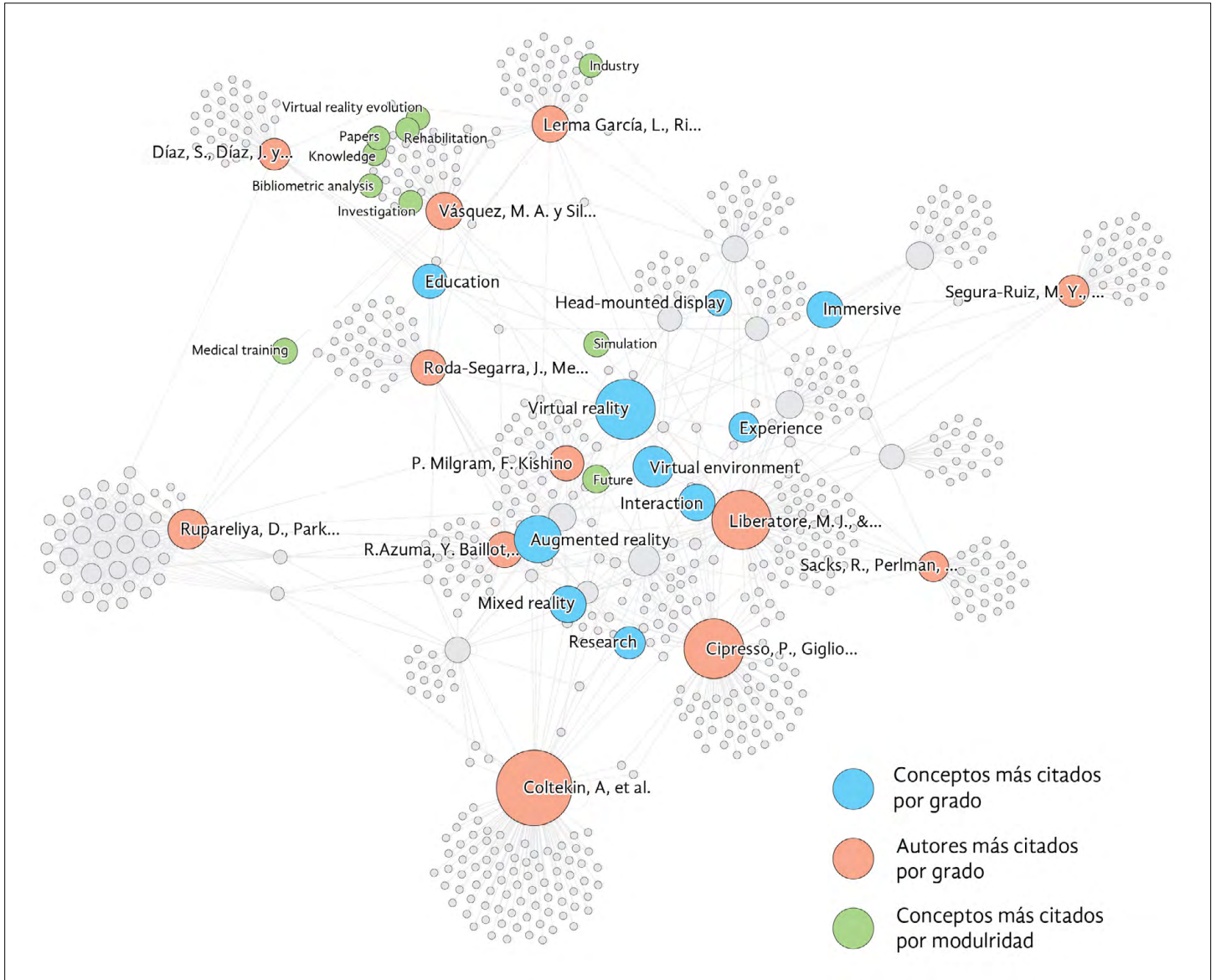


Figura 7. Conceptos y autores más relevantes de acuerdo con el *grado* y *modularidad*.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se observan límites difusos entre los principales SI, incluso existen discrepancias en definición, delimitación y características sobre la realidad mixta. Sin embargo, resulta útil poner atención en tres aspectos importantes: inmersión, interacción y presencia, cuyas condiciones o gradientes pueden ayudar a definir más claramente cada sistema inmersivo.

Es importante resaltar que las principales formas de clasificación en los SI se basan principalmente en tres parámetros: los sentidos a los que son dirigidos, el tipo de dispositivo que usan y el nivel de inmersión. Aunque se presenta también una clasificación por grado de realidad-virtualidad, ésta es demasiado general y no tiene grados claramente definidos.

Por otro lado, el análisis permitió observar que gracias al uso de los SI aplicados con fines educativos es posible resguardar la seguridad de los estudiantes y acercarlos a situaciones del mundo real pero de manera virtual, con la posibilidad de vivir una experiencia compleja controlada previa, lo cual los prepara para que sepan cómo reaccionar ante ciertas dificultades detectadas por el educador; además, brinda a los instructores la posibilidad de darles recorridos en lugares fuera de su alcance, ya sea por la distancia, difícil acceso o ciudades y civilizaciones que dejaron de existir. Igualmente, es un recurso que permite explicar conceptos con objetos tridimensionales y manipularlos para dar explicaciones más amplias.

Los SI proporcionan una representación de la realidad a través de estímulos a los canales sensoriales del ser humano, en especial el canal visual, muchas veces potenciado con el canal auditivo. Desde la perspectiva de la visualización de la información se puede potenciar el desarrollo de estos estímulos a través de metodologías recientes asociadas al diseño centrado en el usuario que fundamentan el proceso de diseño de visualización mediante técnicas, herramientas y metodologías que pueden adaptarse tomando en cuenta necesidades de usabilidad y accesibilidad.

Referencias

- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., y MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Bowman, D. A., y McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MC.2007.257>
- Biocca, F. y Delaney, B. (1995). Immersive Virtual Reality Technology en Biocca, F. y Levy, M. (Eds.). *Communication in the Age of Virtual Reality*. Lawrence Erlbaum Associates
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., y Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/S11042-010-0660-6/FIGURES/24>

- Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., y Riva, G. (2018). The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>
- Çöltekin, A., Lochhead, I., Madden, M., Christophe, S., Devaux, A., Pettit, C., Lock, O., Shukla, S., Herman, L., Stachon, Z., Kubíček, P., Snopková, D., Bernardes, S., y Hedley, N. (2020). Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 439. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070439>
- Díaz, S., Díaz, J. y Arango-López, J. (2018). *Clases de Historia en mundos virtuales: ¿Cómo podemos mejorarlo?* Campus Virtuales.
- Gondomar, R., y Mor, E. (2021). Diseño centrado en las personas. Introduciendo la perspectiva filosófica en la enseñanza y aprendizaje del diseño. *Revista del Congreso Internacional de Docència Universitària i Innovació (CIDUI)*, (5).
- Hansen, D., Shneiderman, B., Smith, M. y Himelboim, I. (2022) *Analyzing Social Media Networks with NodeXL. Insights from a Connected World (2.ª ed.)* Estados Unidos de América: Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01348-1>
- Holloway, R. y Lastra, A. (Septiembre de 1993) *Virtual Environments: A Survey of the Technology*. Heriot Watt University. <http://www.macs.hw.ac.uk/~ruth/year-4VEs/Resources/holloway93virtual.pdf>
- Javornik, A. (2016). Augmented reality: Research agenda for studying the impact of its media characteristics on consumer behaviour. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30, 252–261. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.02.004>
- Kumar, R., Oskiper, T., Naroditsky, O., Samarasekera, S., Zhu, Z., y Kim, J. (2017). System and method for generating a mixed reality environment (Patent No. 9,600,067). In Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office (9,600,067).
- Lerma García, L., Rivas Porras, D., Adame Gallegos, J. R., Ledezma Millán, F., López de la Torre, H. A. y Ortiz Palomino, C. E. (2020). Realidad virtual como técnica de enseñanza en educación superior: perspectiva del usuario. *Enseñanza y Teaching*. <https://doi.uam.elogim.com/10.14201/et202038111123>
- Liberatore, M. J., y Wagner, W. P. (2021). Virtual, mixed, and augmented reality: a systematic review for immersive systems research. *Virtual Reality*, 25(3), 773–799. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00492-0>
- Milgram, P. y Takemura, H. (1994) A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D (12), 1321-1329. <https://www.researchgate.net/journal/IEICE-Transactions-on-Information-and-Systems-1745-1361>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., y Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum (H. Das, Ed.); 2351, 282–292. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Montagud, M., Fraile, I., Meyerson, E., y Fernández, S. (2019). ImAc: Soluciones de Accesibilidad para Medios Inmersivos.
- Parveau, M., y Adda, M. (2018). 3iVClass: a new classification method for Virtual, Augmented and Mixed Realities. *Procedia Computer Science*, 141, 263–270. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.10.180>

- Roda Segarra, J., Mengual-Andrés, S., y Martínez-Roig, R. (2022). Using Virtual Reality in Education: a bibliometric analysis. *Campus Virtuales*. <https://doi.org/10.54988/cv.2022.1.1006>
- Rupareliya, D., Parkar, H., Katkar, M., Sankhla, T., Menon, R., Somra, R., Bhasuru, R., Mahajan, C., Gajbhiye, S., y Toradmalle, D. (2021). A Pragmatic Approach in Enhancing Health Care Industry Using Augmented Reality and Virtual Reality. 2021 *International Conference on Communication Information and Computing Technology (ICCICT)*, Communication Information and Computing Technology (ICCICT), 2021 International Conference On. <https://doi.org/10.1109/ICCICT50803.2021.9510034>
- Sacks, R., Perlman, A., y Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005–1017. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>
- Schroeder, R. (1996). Possible worlds: the social dynamic of virtual reality technology. <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/524984>
- Segura-Ruiz, M. Y., y Osorio-Díaz, R. (2021). Usabilidad en aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva Accesible e inclusiva Multi-escenario: Caso práctico. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(3), 82-92.
- Sherman, W. R., y Craig, A. B. (2019). Introduction to Virtual Reality. Understanding Virtual Reality, 4–58. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800965-9.00001-5>
- Torres Barchino, A., Cabezos Bernal, P. M., Delcampo Carda, A., y Baviera Llópez, E. (2021). Sistema de Visualización Panorámica de Espacios Habitables. Un Proyecto de Interacción Cromática entre la Persona Mayor el Espacio Arquitectónico. *Revista de EGA*, 26(42).
- Vásquez Carbonell, M. A., y Silva-Ortega, J. I. (2020). Tendencias y características de la realidad virtual. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 36–70. <https://doi.org/10.17981/CESTA.01.01.2020.04>

L.D.G. Adolfo López Magaña • ORCID 0000-0002-2160-5952

Estudiante de la maestría en Diseño y Visualización de la Información.
División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México.
al2212800561@azc.uam.mx

D.C.G. Juan Manuel Galindo Medina • ORCID 0000-0002-0980-1563

Estudiante de la maestría en Diseño y Visualización de la Información.
División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México.
jmgm@azc.uam.mx

D.C.G. Guillermo Hiriart Camacho • ORCID 0000-0001-7107-3723
Estudiante de la Maestría en Diseño y Visualización de la Información.
División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México.
hiriart.mx@gmail.com

D.C.G. Norma Guadalupe Maldonado Santos
ORCID 0000-0001-7107-3723
Estudiante de la maestría en Diseño y Visualización de la Información.
División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México.
al2212800589@azc.uam.mx

Dra. Yadira Alatraste Martínez • ORCID 0000-0001-5410-6749
Profesora investigadora del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
Área de Investigación de Nuevas Tecnologías.
yalatraste@azc.uam.mx



Atribución-NoComercial-SinDerivadas
Permite a otros solo descargar la obra y compartirla con otros siempre y cuando se otorgue el crédito del autor correspondiente y de la publicación; no se permite cambiarlo de forma alguna ni usarlo comercialmente.