

GRAMATICAS SOCIALES DE LA VIRTUALIDAD 2025

Un año de investigación: Informe sobre las tendencias y hallazgos clave en la investigación sobre Realidad Extendida.

Laboratorio de Realidad Extendida
Annenberg
Universidad de Pensilvania
Volumen 03: Mayo de 2025
[sitio web](#)

CONTENIDO

Introducción y Resumen Ejecutivo:Número 3	04
<i>Katerina Girginova, Katie Rawson, Maxwell Foxman, Jeffrey Vadala, Kyle Cassidy, Feng Yi Chew, Shane Burrell Jr.</i>	
Mapeo del conocimiento de la literatura sobre realidad extendida en 2024	08
<i>Katerina Girginova</i>	
Teorías en XR, 2024	22
<i>Maxwell Foxman, Shane Burrell</i>	
El lenguaje de las tecnologías y experiencias de realidad extendida	38
<i>Katerina Girginova</i>	
Avances en tecnologías XR	48
<i>Jeffrey Vadala</i>	
Evolución del mercado XR en 2024	76
<i>Kyle Cassidy</i>	
Visiones de los graduados sobre la realidad extendida: un análisis temático de la producción académica en 2024	86
<i>Feng Yi Chew</i>	

INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO:NÚMERO 3

Katerina Girginova, Katie Rawson, Maxwell Foxman, Jeffrey Vadala, Kyle Cassidy, Feng Yi Chew, Shane Burrell Jr.

¡Bienvenido al tercer número de Social Grammars of Virtuality! Este es un informe anual que rastrea y analiza críticamente los desarrollos en la investigación de realidad extendida (XR) [1]. En este número encontrará un mapeo de conocimiento de todas las publicaciones de 2024 sobre XR revisadas por pares y disponibles en inglés, cubriendo casi 11,000 artículos. La sección de mapeo de conocimiento del informe examina las geografías de la producción de conocimiento, los medios de publicación, las instituciones y el financiamiento, proporcionando un resumen de alto nivel de las tendencias de investigación, con un enfoque específico en las ciencias sociales. A esto le siguen las cuatro secciones regulares que brindan una inmersión más profunda en las teorías, tecnologías, metodologías y el lenguaje utilizado en la investigación sobre XR en varias revistas principales. El informe también incluye una descripción general de los desarrollos comerciales en XR durante 2024. Además, este año tenemos una nueva sección especial dedicada a las tesis doctorales sobre XR, que a menudo están a la vanguardia de la creación de conocimiento.

RESULTADOS CLAVE:

1. La realidad aumentada (RA) continúa experimentando un crecimiento significativo en la investigación, aunque el número de publicaciones dedicadas a ella aún no refleja su predominio en el uso comercial de la XR. La inteligencia artificial también tuvo una presencia destacada en las publicaciones de este año, pero su enfoque y usos varían considerablemente.
1. La investigación sobre XR se está volviendo simultáneamente 1) más especializada en varios contextos centrales como educación, capacitación y atención médica, y 2) más diversa en los temas y usuarios objetivo que persigue dentro de estos pocos contextos predominantes.
1. La investigación sobre XR, incluidas publicaciones y tesis doctorales revisadas por pares, sigue siendo en gran medida aplicada y pone énfasis en la usabilidad, la adoptabilidad y el aprendizaje por sobre la teorización y las preguntas fundamentales sobre la creación y los usos de XR.

RECOMENDACIONES PARA INVESTIGADORES Y PROFESIONALES DE XR :

- La producción virtual es un área de práctica e investigación en rápido desarrollo. Sin embargo, según los líderes del sector, la oferta de profesionales se está quedando atrás de la demanda. Una de las razones es la falta de un lenguaje común para describir y capacitar al talento para la necesaria sinergia de habilidades de producción. Desarrollar este lenguaje común y un conjunto de prácticas es clave.
- Existe una creciente diversidad de plataformas, software de análisis y contenido sobre XR. Los investigadores deberían considerar estos nuevos avances, que permiten una mayor personalización y eficiencia en la creación de contenido, al realizar investigaciones en XR.
- La investigación sobre XR carece de trabajos longitudinales y se beneficiaría de dichos estudios para comprender de manera más integral los usos y las percepciones.

El informe Social Grammars of Virtuality sigue siendo un recurso gratuito y de calidad para la comunidad académica y profesional, y está disponible en inglés y español. Esperamos que este informe represente un paso adelante para dar a conocer la comunicación crítica y, en general, las voces de las ciencias sociales en las conversaciones sobre XR en la sociedad, de manera accesible. Entendemos nuestro trabajo como una conversación con la comunidad global de XR. Esperamos que disfruten de su lectura y que se pongan en contacto con nosotros para continuar la conversación.

BIOGRAFÍAS DE LOS AUTORES

La Dra. Katerina Girginova es coeditora de Social Grammars of Virtuality y cofundadora/directora del Annenberg Extended Reality (AER) Lab de la Universidad de Pensilvania. Escribe sobre medios y audiencias globales, con un interés específico en la industria de los medios inmersivos. Antes de incorporarse a la Universidad de Pensilvania, Katerina trabajó en diversas organizaciones de medios y disfruta combinando perspectivas creativas y críticas en la producción mediática.

La Dra. Katie Rawson es coeditora de Social Grammars of Virtuality y Directora de Servicios y Operaciones Bibliotecarias en la Escuela de Comunicación Annenberg de la Universidad de Pensilvania. Ha ocupado puestos en investigación digital, innovación educativa y diversas publicaciones. Ha publicado trabajos sobre curación de datos, colaboración académica, métodos computacionales y cultura gastronómica. Ya sea estudiando modelos de datos o cocina de comida rápida, su investigación se centra en las formas de conocimiento.

El Dr. Maxwell Foxman es profesor adjunto de Estudios de Medios y Estudios de Videojuegos en la Facultad de Periodismo y Comunicación de la Universidad de Oregón. Su investigación se centra en el impacto de los videojuegos en los medios de comunicación y las industrias afines, como el periodismo, los deportes electrónicos y la realidad aumentada (XR). Foxman es coautor de *Mainstreaming and Game Journalism* (MIT Press) con David B. Nieborg. Su investigación ha aparecido en *New Media & Society*, *Social Media + Society*, y *Periodismo Digital*, entre otros medios.

El Dr. Jeffrey Vadala es investigador en el campo de la neuroestética y la antropología, y se centra en cómo la arquitectura influye en la experiencia y la cognición humanas. Mediante el uso de la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA), la realidad mixta (RM) y la inteligencia artificial (IA), estudia cómo los humanos crean y experimentan el espacio y el lugar. Como director del Laboratorio de RV de Neurología de Penn, el Dr. Vadala imparte docencia y lidera proyectos que integran la RV, la RA y la IA para estudiar cómo los humanos perciben y responden a diferentes entornos arquitectónicos.

Kyle Cassidy es cofundador y director del Annenberg Extended Reality (AER) Lab de la Universidad de Pensilvania y escribe sobre tecnología desde principios de los 90. Es autor de varios libros sobre informática y ha colaborado como editor en la revista *Videomaker*

durante dos décadas. Ha ganado cuatro Premios Keystone de Periodismo y, en 2020, el premio Modelo de Excelencia de la Universidad de Pensilvania por su trabajo en realidad virtual.

Feng Yi Chew es estudiante de doctorado en la Escuela de Comunicación Annenberg de la Universidad de Pensilvania. Estudia los mecanismos que subyacen a los valores, las actitudes y los comportamientos, y cómo estos influyen en las respuestas a las comunicaciones persuasivas, especialmente en el ámbito de la salud. Con experiencia en estrategia gubernamental y políticas sobre enfermedades infecciosas, aporta una perspectiva aplicada a cuestiones de comunicación científica, adopción de tecnología y confianza pública. También le interesa cómo se pueden aprovechar las tecnologías de realidad extendida para apoyar intervenciones sanitarias equitativas basadas en la evidencia, y para profundizar la participación ciudadana en la ciencia.

Shane Burrell Jr. es estudiante de doctorado en Estudios de Videojuegos en la Facultad de Periodismo y Comunicación de la Universidad de Oregón. Su investigación se centra en la relación que los usuarios de la realidad virtual tienen con sus personajes virtuales. Shane investiga este tema desde una perspectiva crítica y pospositivista, utilizando métodos mixtos y enfoques fundamentados. Su investigación se centra en el uso de tecnologías y medios innovadores, examinándolos desde el paradigma de la psicología de los medios.

1. Realizamos un seguimiento específico de lo siguiente: realidad aumentada, mixta y virtual.

MAPEO DEL CONOCIMIENTO DE LA LITERATURA SOBRE REALIDAD EXTENDIDA EN 2024

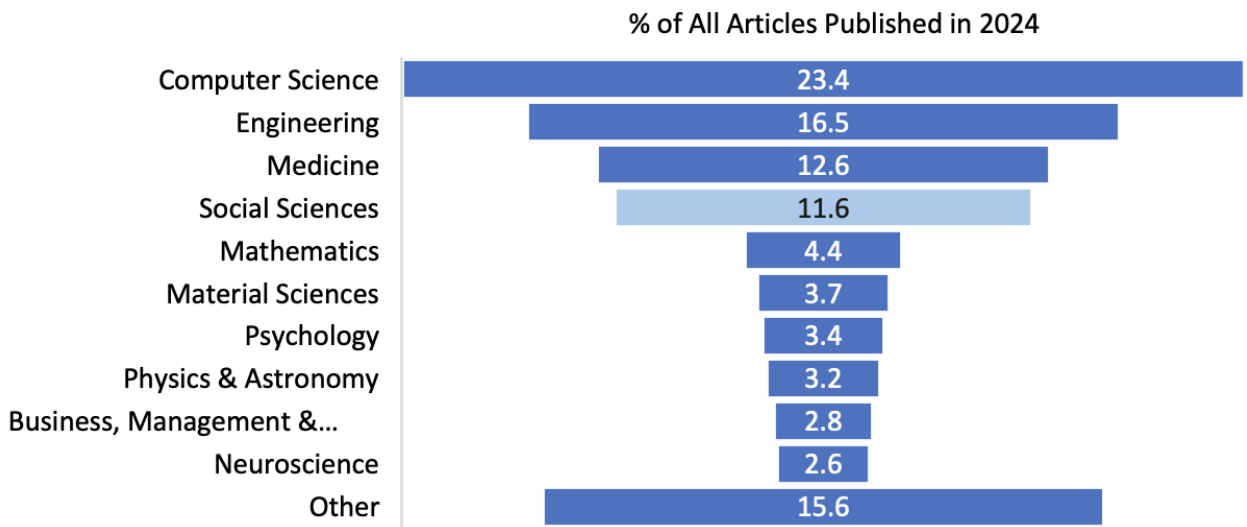
Katerina Girginova

INTRODUCCIÓN

Esta sección del informe ofrece una visión crítica del conocimiento generado a través de la investigación sobre realidad extendida (XR) en 2024. La XR es un término general que, a efectos de este análisis, abarca principalmente las tecnologías y experiencias de realidad aumentada y virtual; sin embargo, como veremos más adelante, las herramientas de inteligencia artificial (IA) se incorporan cada vez más a este panorama. Esta sección destaca las tendencias clave en la investigación sobre RX, incluyendo las geografías de la producción de conocimiento, los temas centrales de investigación, los autores más prolíficos, los medios de comunicación y las fuentes de financiamiento. El análisis se centra especialmente en la investigación en ciencias sociales, ya que los autores de este informe consideran que el trabajo crítico y con base sociocultural es crucial para el desarrollo adecuado de las tecnologías de XR en la sociedad.

Una búsqueda [1] en la base de datos Scopus arroja un total de 10 976 artículos revisados por pares en inglés en 2024, que abarcan 11 áreas temáticas principales. (Tenga en cuenta que algunos artículos están clasificados en varias categorías disciplinarias).

Figura 1. Publicaciones por disciplina en 2024



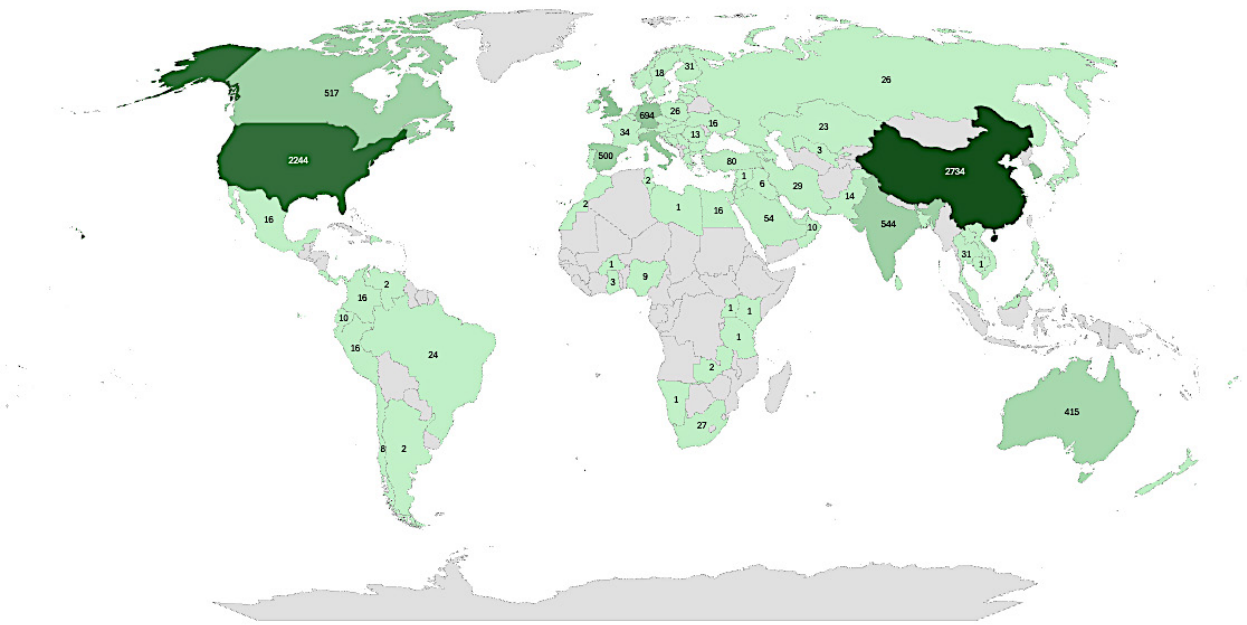
GEOGRAFÍAS DE LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO

De este total, 2285, o casi el 12 %, se clasificaron dentro del ámbito de las ciencias sociales [2]. Esto representa un ligero aumento con respecto a 2023, cuando 1750, o poco más del 11 %, se clasificaron dentro del ámbito de las ciencias sociales. En general, las clasificaciones de investigación por área temática (Figura 1) y las fuentes de financiamiento de la investigación (Figura 8) indican que la XR es, en gran medida, un campo de investigación aplicada.

Según las designaciones proporcionadas por la base de datos Scopus, el área de ciencias sociales volvió a experimentar uno de los mayores crecimientos durante el último año (0,04%), junto con ingeniería, administración de empresas y contabilidad, y ciencia de materiales. Si bien ciencias de la computación aún representa la mayoría de la producción, siendo el área temática más prolífica en investigación de XR con el 23,4% de todos los artículos publicados en 2024, las ciencias sociales han experimentado un aumento constante interanual en sus publicaciones, lo que indica un interés académico sostenido. Otras áreas como la psicología (que originalmente impulsó la investigación humanística de XR), la informática, las matemáticas y la neurociencia experimentaron un descenso a partir de 2023.

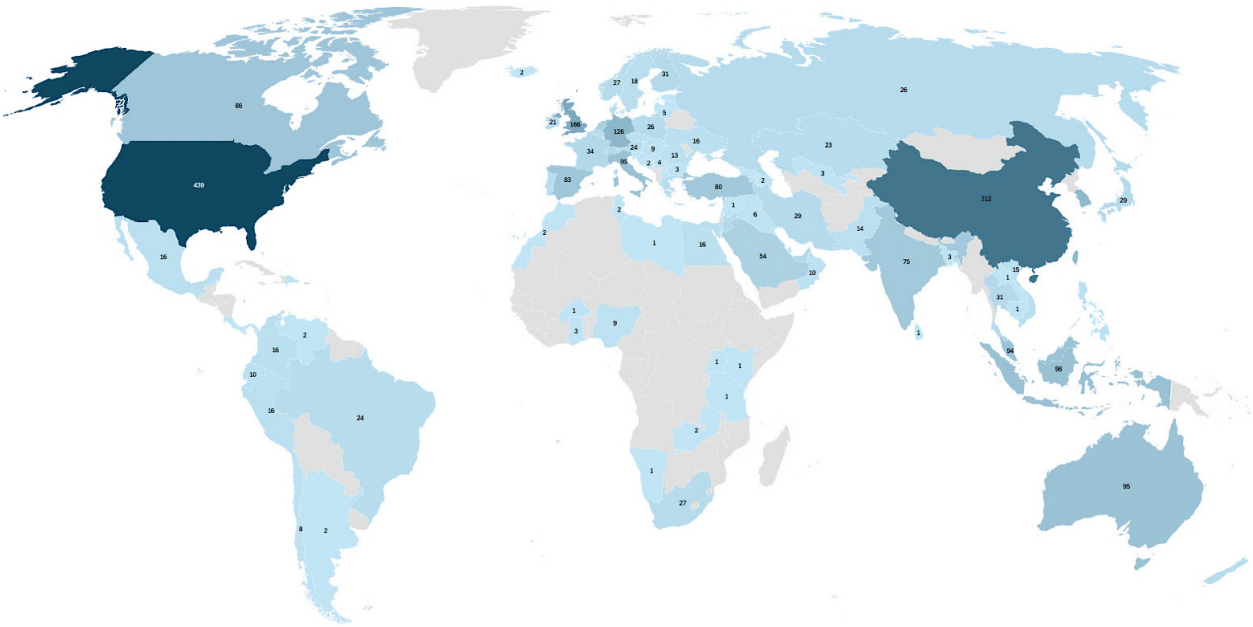
China y Estados Unidos volvieron a dominar la producción de conocimiento sobre XR. China fue la principal fuente de todas las publicaciones sobre XR en inglés en 2024 (2734 publicaciones en total), con Estados Unidos (2244 publicaciones en total) en segundo lugar. Esta tendencia se revirtió en el contexto de las ciencias sociales, donde Estados Unidos fue la principal fuente intelectual (439 publicaciones en total), con China en segundo lugar (312 publicaciones en total). Estos resultados son similares a los de los últimos dos años. Cabe destacar que, mientras que la mayoría de las demás regiones geográficas publicaron alguna investigación sobre XR en inglés en 2024, las perspectivas africanas estuvieron en gran medida ausentes. Finalmente, una vez más, los temas clave en la producción total de XR de todos los países fueron la educación, la informática y la medicina.

Figura 2. Número de artículos sobre XR publicados a nivel mundial en todas las disciplinas en 2024



AUTORÍA Y AFILIACIONES

Figura 3. Número de artículos XR publicados en ciencias sociales en 2024



Alrededor del 97% de todos los artículos publicados en 2024 fueron en coautoría, con esta cifra descendiendo ligeramente al 90% en el caso específico de las ciencias sociales. Esto indica que se mantienen altos niveles de colaboración en la investigación sobre XR. Al igual que en años anteriores, ningún autor o institución dominó la producción científica, y las fuentes más prolíficas, tanto en ciencias sociales como en todas las categorías de investigación, representaron solo alrededor del 1% de la producción total. No obstante, los autores e instituciones más prolíficos estaban asociados con laboratorios de investigación reconocidos y con recursos suficientes, lo que indica que la investigación en XR a menudo depende de un financiamiento e infraestructura sustanciales. Por último, todas, excepto una (la Universidad de Harvard), de las 10 instituciones más prolíficas en todas las disciplinas y las ciencias sociales eran instituciones públicas.

PALABRAS CLAVE

Los temas de educación y formación, atención médica y rehabilitación, y experiencia de usuario dominaron los artículos en todas las disciplinas en 2024. Si bien la realidad virtual fue la principal tecnología investigada, las tecnologías de realidad aumentada, así como la realidad mixta, continuaron ganando protagonismo este año, acercándose a las condiciones del mercado. Además, la inteligencia artificial (IA), incluyendo el aprendizaje automático y profundo, se destacó no solo en las ciencias más complejas (véase la Figura 4), sino también en las ciencias sociales (véase la Figura 5) como se indica a continuación. La IA se mencionó a menudo como otra herramienta para la creación de experiencias inmersivas, junto con tecnologías como la RV y la RA, y en contextos que van desde el arte hasta la cirugía. En algunos casos, las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada se enmarcaron como herramientas de IA.

Figura 4. Muestra de las principales palabras clave de los autores en todas las

Palabras clave	Número de artículos que incluyen palabras clave
realidad virtual	1.646
realidad aumentada	584
realidad mixta	174
realidad extendida	107
inteligencia artificial	99
aprendizaje automático	85
virtual inmersivo	64
aprendizaje profundo	64
educación médica	62
seguimiento ocular	59

PUNTOS DE PUBLICACIÓN

5. Palabras clave de autor en las publicaciones de ciencias sociales

Palabras clave	Número de artículos que incluyen palabras clave
realidad virtual	507
realidad aumentada	248
inteligencia artificial	53
realidad extendida	41
realidad mixta	41
virtual inmersivo	33
educación superior	28
tecnología educativa	23
educación médica	21
aprendizaje inmersivo	19

En las ciencias sociales, las tecnologías inmersivas se implementaron con mayor frecuencia en contextos de educación, formación y simulación. Esto solía incluir investigación en aulas y espacios médicos o de enfermería. Sin embargo, los temas a menudo se diversificaban hacia poblaciones de mayor edad o con necesidades fisiológicas o psicológicas especiales. La salud, el bienestar y el patrimonio cultural fueron dos contextos populares adicionales para la investigación en ciencias sociales de XR, al igual que la experiencia del usuario y la carga cognitiva.

Las revistas enumeradas a continuación reflejan en gran medida la jerarquía de publicaciones de las disciplinas de investigación delineadas en la Figura 1.

Figura 6. Medios de publicación más prolíficos en todas las disciplinas

Revista	Número de artículos
IEEE Access	251
Applied Mathematics and Nonlinear Sciences	229
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	199
Virtual Reality*	166
Applied Sciences Switzerland	161
Scientific Reports	149
International Journal of Human Computer Interaction	117
Computer Aided Design and Applications	106
Plos One	100
Frontiers in Virtual Reality*	94

* Las revistas marcadas son parte de la selección para un análisis más profundo en el resto del informe.
La mayoría de los artículos de las revistas mencionadas se dedican a probar, mejorar e innovar las tecnologías de XR. Los artículos de Scientific Reports y Plos One de este año se centran principalmente en la psicología de las experiencias en XR, mientras que los de Applied Sciences Switzerland se centran en la medicina.

FINANCIAMIENTO Y ACCESO

Figura 7. Medios de publicación más prolíficos en el campo de las ciencias sociales

Revista	Número de artículos
International Journal of Human Computer Interaction	117
Education and Information Technologies	86
Proceedings of the ACM on Human Computer Interaction	63
BMC Medical Education	56
Interactive Learning Environments	54
Sustainability Switzerland	54
Education Sciences	34
Computers and Education X Reality	32
International Journal of Human Computer Studies	31
Cyberpsychology Behavior and Social Networking	30

Como se puede observar en los nombres de las revistas mencionadas, la mayoría se centra en la educación y las experiencias de los usuarios en la interacción con medios de XR. Sustainability Switzerland se centra en temas ambientales, pero también publica ampliamente sobre educación en prácticas sostenibles.

Alrededor del 60% de las publicaciones de todas las disciplinas recibieron algún tipo de financiamiento, y en las ciencias sociales, específicamente, esta tasa fue de alrededor del 50%. Ambas cifras se mantuvieron en línea con las de años anteriores. Todos los organismos de financiamiento que aparecen en las tablas a continuación son agencias nacionales, y los países asiáticos lideraron el número de artículos publicados en 2024 que recibieron financiamiento.

Figura 8. Las 10 principales fuentes de financiamiento para toda la investigación en XR

Fuente de financiamiento	Número de artículos
National Natural Science Foundation of China (China)	996
National Key Research and Development Program of China (China)	320
National Research Foundation of Korea, (South Korea)	278
National Science Foundation (USA)	247
European Commission (EU)	242
National Institutes of Health (USA)	194
Horizon 2020 Framework Programme (EU)	180
Japan Society for the Promotion of Science (Japan)	148
Deutsche Forschungsgemeinschaft (Germany)	139
Fundamental Research Funds for the Central Universities (China)	131

Figura 9. Las 10 principales fuentes de financiamiento para la investigación en ciencias

Funding Source	Number of Articles
National Natural Science Foundation of China (China)	94
National Research Foundation of Korea (South Korea)	54
National Science Foundation (USA)	47
European Commission (EU)	46
Ministry of Science and Technology (Taiwan)	37
National Science and Technology Council (Taiwan)	36
UK Research and Innovation (UK)	26
Ministry of Education (Taiwan)	25
National Key Research and Development Program of China (China)	24
Horizon 2020 Framework Programme (EU)	23

Por último, se observa una ligera disminución en la accesibilidad al conocimiento sobre XR con respecto al año pasado, con poco más del 50 % de los artículos publicados en acceso abierto. Si bien esto coincide con estimaciones más generales[3] sobre el acceso abierto a artículos y revistas, sigue siendo una cifra relativamente baja, lo que limita el acceso a los hallazgos de la investigación sobre XR.

1. La siguiente consulta de cadena se utilizó en Scopus el 24 de mayo de 2025 para obtener los resultados:

TÍTULO-ABS-CLAVE ("XR" O "VR" O "realidad mixta" O "realidad virtual" O "realidad extendida" O "realidad aumentada") Y (LIMITA A (PUBSTAGE, "final")) Y (LIMITA A (DOCTYPE, " ar ")) Y (LIMITA A (PUBYEAR, 2024)) Y (LIMITA A (IDIOMA, "Inglés")) Y (EXCLUYE (SUBREAREA, "BIOC")) O EXCLUYE (SUBREAREA, "IMMU") O EXCLUYE (SUBREAREA, "PHAR") O EXCLUYE (SUBREAREA, "CHEM"))
2. Cabe destacar que, solo por volumen, 2285 artículos de ciencias sociales, de una producción total de casi 11 000 artículos, corresponden a aproximadamente el 20 %. Sin embargo, Scopus utiliza el sistema de Clasificación de Revistas Científicas (ASJC) para calcular las disciplinas a las que mejor se corresponde cada artículo. Según este sistema, los artículos pueden clasificarse en múltiples disciplinas y recibir ponderaciones fraccionarias para cada clasificación, lo que resulta en una categorización más precisa. Por lo tanto, según las clasificaciones de Scopus, los 2285 artículos de ciencias sociales, de una producción total de casi 11 000 artículos, corresponden a casi el 12 %.
3. Véase: Piwowar, H., Priem, J., Larivière, V., Alperin, JP, Matthias, L., Norlander, B., ... y Haustein, S. (2018). El estado del Acceso Abierto: un análisis a gran escala de la prevalencia y el impacto de los artículos de Acceso Abierto. PeerJ , 6, e4375.

TEORÍAS EN XR, 2024

Maxwell Foxman, Shane Burrell

En 2024, artículos publicados [1]en *Frontiers in Virtual Reality*, *Presence* y *Virtual Reality* instaron al desarrollo de teorías que permitan refinar, probar y profundizar en la utilidad de la XR. Si bien este enfoque se basó en conceptos estándar, como la personificación y la presencia, el desarrollo y la implementación teórica tendieron a alinearse con la literatura sobre educación (p. ej., STEM) y capacitación (p. ej., medicina, oratoria). Este cambio destaca cómo la XR se entiende cada vez más como un medio específico, en lugar de tener un atractivo comercial o de entretenimiento general .

Además, cada revista defendió perspectivas teóricas ligeramente diferentes, aunque los conceptos tendieron a desplegarse con escasa explicación o cuestionamiento crítico, o carecieron por completo de teorías identificables (como en años anteriores). Mientras que *Frontiers in Virtual Reality* abordó teorías de la cognición corporizada, *Presence* se centró (como era de esperar) en teorías sobre la presencia, junto con conceptos de corporización e inmersión. Por el contrario, *Virtual Reality* incorporó teorías como la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (CTML), la Teoría de la Restauración de la Atención y la Teoría Unificada del Uso y la Aceptación de la Tecnología (UTAUT) para explicar diversos fenómenos relacionados con especializaciones específicas.

En general, las tres revistas utilizaron la teoría para refinar la comprensión contemporánea del uso de la XR, en lugar de justificar la aplicabilidad del medio, como se informó en el volumen del año pasado. La tecnología parece ser aceptada con mayor persistencia como una herramienta útil en muchos campos donde aumentó o complementó protocolos y prácticas, en lugar de cambiar por completo las normas existentes. La teoría amplió las particularidades o respaldó medidas de análisis específicas. Por ejemplo, al evaluar la eficacia de un SMARTlab de realidad aumentada (RA), un artículo destacó la presencia espacial como un componente experiencial vital y posteriormente la midió en una encuesta (Ismael et al., 2024). Los mismos investigadores también hicieron referencia a UTAUT en sus mediciones.

Investigaciones en comunicación sobre XR, clásicas del siglo XX (p. ej., Biocca, 1992) y teorías como la ciberenfermedad (p. ej., Teixeira et al., 2024), la teoría de la corporeidad (p. ej., Uhm et al., 2024), el efecto Proteus (Oberdörfer et al., 2024) y los gemelos digitales (Feder et al., 2024) también aparecieron en el corpus. Sin embargo, en muchos casos, los autores los emplearon para clarificar su trabajo en un área específica de especialización. Por ejemplo,

el efecto Proteus sentó las bases para un mejor desarrollo de zapatos virtuales (Oberdörfer et al., 2024). Dichas ideas no recibieron un análisis ni una crítica académica significativos.

TEMAS CLAVE: TEORÍAS DEL APRENDIZAJE Y DEL SER

Las teorías del corpus se dividieron aproximadamente en dos enfoques. Por un lado, los investigadores tendieron a basarse en teorías del aprendizaje y el desarrollo cognitivo (en consonancia con los estudios de formación y educación); por otro lado, se apoyaron en conceptos psicológicos más formales como la encarnación, la presencia y la inmersión.

TEORÍAS DEL APRENDIZAJE

En particular, en *Frontiers in Virtual Reality*, un paradigma dominante giró entorno a la cognición encarnada, o «la idea de que la naturaleza y el desarrollo de ciertas cogniciones se basan en nuestra realidad física vivida» (Renata et al., 2024). El concepto se aplicó ampliamente, incluyendo la evaluación de la eficacia de las clases virtuales para estudiantes de medicina (Neuwirth et al., 2024) y la exploración de cómo la XR podría mitigar la ansiedad de los oradores públicos (Girondini et al., 2024). Estos ejemplos demuestran la relevancia de la cognición encarnada en contextos de entrenamiento. Sin embargo, el término en sí no siempre se expresó con claridad. Suzuki et al. (2024) investigaron las diferencias en el entrenamiento de artes marciales con un visor montado en la cabeza (HMD) frente a métodos de entrenamiento presencial, empleando un diseño experimental intersujetos. Si bien su revisión bibliográfica no mencionó expresamente la teoría de la cognición encarnada, sus hallazgos distinguieron los diferentes resultados de aprendizaje de las técnicas y movimientos de aprendizaje presencial y encarnado. Los detalles concretos fueron escasos, aunque algunos investigadores sugirieron que aspectos como cómo «la representación mental dinámica de la información sensorial y propioceptiva sobre el cuerpo de un individuo en el espacio» (Renata et al., 2024) podría ser un mecanismo apropiado para la proyección de uno mismo en un contexto de entrenamiento.

Otras teorías del aprendizaje se derivaron del ámbito educativo. Por ejemplo, la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia —que sostiene que «los seres humanos participan activamente en el procesamiento cognitivo de material auditivo y visual a través de canales separados que tienen capacidad limitada de procesamiento simultáneo para construir representaciones mentales de su experiencia» (Laine et al., 2024), se ha utilizado para analizar el impacto de la XR en el desarrollo de habilidades (Laine et al., 2024), el aprendizaje infantil (Dall’Olio et al., 2024) e incluso la novedad e implementación de la VR (Miguel-Alonso et al., 2024). En estos casos, la XR se abordó como una tecnología más en el aula. Otras teorías, como la UTAUT o el Modelo de Aceptación Tecnológica (MAT), se invocaron de forma similar para explicar los niveles de adopción en entornos de aprendizaje y formación, incluida la medicina (p. ej., Alarcon-Urbistondo et al., 2024).

En otros casos, se propusieron teorías para explicar cómo la XR impactaría el proceso de aprendizaje. La Teoría de la Restauración de la Atención, por ejemplo, sugiere que «los entornos facilitan la restauración cuando minimizan las demandas atencionales y crean experiencias de ‘fascinación suave...’, ‘estar lejos...’, ‘extensión...’ y ‘compatibilidad’» (Barton et

TEORÍAS Y CONCEPTOS PSICOLÓGICOS.

al., 2024). Investigadores han sugerido que la XR podría facilitar esto para los estudiantes, una noción que también respalda la Teoría de la Reducción del Estrés (Ladakis et al., 2024). Por lo tanto, se analizó la XR en términos de déficits y beneficios para los estudiantes, o cómo los espacios virtuales podrían ofrecer entornos de aprendizaje más propicios.

En conjunto, este trabajo demuestra un cambio teórico significativo en la comprensión y el perfeccionamiento de casos de uso específicos de cada disciplina para medios inmersivos. Trabajos similares se extendieron a otros campos, como la medicina y la seguridad peatonal (Peereboom et al., 2024), donde, en lugar de ser una panacea, la XR se planteó como una herramienta con limitaciones teóricas específicas

Como se mencionó, en el corpus se citaron constructos “clásicos”, como la encarnación, la presencia y la inmersión. Por ejemplo, Gonzalez-Franco et al. (2024) aludieron a que “el cuerpo virtual, a nivel visual, motor y propioceptivo, sustituye al propio cuerpo [de los usuarios] y, por lo tanto, los participantes experimentan una ilusión [2]de encarnación”. Su trabajo se centró en el sesgo implícito que puede ocurrir al encarnar un avatar, otro concepto estrechamente relacionado. En consecuencia, también se hizo referencia a la encarnación junto con conceptos como la propiedad (asociar el avatar con el yo) y la agencia (control sobre un avatar) (p. ej., Hartfill et al., 2024), así como el Efecto Proteus, todos los cuales explican el impacto psicológico de interactuar con seres virtuales.

Asimismo, los académicos mencionaron teorías de presencia e inmersión. Teorías comunes, como la “ilusión de lugar”, que se refiere a cómo uno cree estar en un entorno virtual, se basan en factores personales, físicos y espaciales (Glenn y Coxon, 2024). De igual manera, el concepto de flujo, “donde los cambios en la percepción del tiempo y la autoconciencia se ven influenciados por la participación, la concentración en la tarea y la dificultad” (Landeck et al., 2024), se analizó en varios artículos. Esta teoría es particularmente útil para comprender cómo se produce la presencia. En el trabajo de Landeck et al. (2024), el flujo se afirmó como un principio de diseño, mientras que en otros trabajos se utilizó para evaluar la eficacia de un laboratorio virtual de educación STEM (Solmaz et al., 2024).

Estas teorías de XR abordan los mecanismos subyacentes que pueden derivarse del uso del medio. Su aplicación teórica está estrechamente vinculada a la psicología de los medios y a las posibles implicaciones cognitivas y emocionales. En otras palabras, los investigadores se basaron en la literatura sobre los efectos individuales para formular suposiciones sobre el impacto.

Más allá de estas tendencias, se emplearon otras teorías, específicamente en el contexto del desarrollo de escalas. Un artículo combinó TAM, UTAUT y la Teoría del Comportamiento Planificado como medidas para comprender la adopción de la RV en la formación en parasitología (Dekker et al., 2024). Otro propuso la presencia y la agencia en las medidas de aceptación de la RV en el manejo del dolor crónico (Patel y Baker, 2024). De esta manera, gran parte del desarrollo teórico provino de conceptos presentes en las revistas científicas de los últimos años.

DESARROLLOS TEÓRICOS

Los investigadores se basaron en teorías para evaluar la eficacia de consultas específicas. Por ejemplo, un artículo que evaluaba la RV como herramienta para el aprendizaje del inglés sugería: «La RV puede proporcionar entornos alternativos para el aprendizaje situado, ya que ofrece una variedad casi ilimitada de contextos virtuales que pueden diseñarse para dar a los usuarios la sensación de estar presentes, lo que les permite aplicar el aprendizaje en entornos plausibles y únicos» (Yan et al., 2024). [3]En este sentido, el artículo sitúa la presencia en el contexto de una teoría educativa más amplia (Aprendizaje Situado). Esta especificidad se extendió a otras áreas, como los lugares de trabajo virtuales (Held et al., 2024) y la experiencia de los espectadores de entretenimiento (Farabbi y Mainardi, 2024).

Los matices de las teorías también se exploraron en numerosas revisiones sistemáticas y exploratorias, centradas en temas que abarcaban desde la terapia virtual (Crowe et al., 2024) hasta el prejuicio racial (Higgins et al., 2024). En este trabajo, la teoría se trató como una métrica (e incluso como una variable en algunos casos) dentro de un grupo de componentes destinados a ampliar temas específicos. Por ejemplo, en una revisión sobre la eficacia de los juegos de realidad virtual (RV) para la rehabilitación de adultos mayores, el flujo se incluyó como un factor más para comprender el Ajuste Dinámico de la Dificultad (ADD) en los artículos evaluados (Guzmán et al., 2024). La teoría de la RX no se cuestionó, sino que se integró en análisis más amplios.

En resumen, esta perspectiva destaca la creciente normalización de la XR. Siguiendo el ciclo de Gartner, que sugiere que cualquier innovación alcanza un pico de interés, un punto de desilusión y una pendiente de iluminación, parece que los medios inmersivos comerciales están alcanzando progresivamente la “meseta de productividad”, donde su aceptación y ventajas teóricas se reconocen en áreas donde son más útiles, incluyendo, en particular, la educación y la formación.

AUSENCIAS Y TRABAJO FUTURO

Si bien los enfoques teóricos sobre la XR pueden estar estancados, faltan perspectivas críticas y culturales, así como debates más amplios. En años anteriores, hemos destacado trabajos que cuestionan supuestos teóricos fundamentales, como la ilusión de plausibilidad (Slater et al., 2022). Dichos debates estuvieron menos representados en este trabajo y, cuando se abordaron, fueron matizados; uno de los trabajos con mayor carga teórica del corpus se centró en la multitud de factores sensoriales relacionados con la forma en que los avatares podrían reducir el cibermareo, citando la sensación de presencia, la ilusión de plausibilidad y el valle inquietante como factores contribuyentes (Makani et al., 2024).

Además, el uso de la teoría para abordar el impacto cultural más amplio de XR fue poco común. El enfoque tendió a estar en temas más granulares o aplicados: una pieza abordó el potencial de amenazas a la privacidad (Kumarapeli et al., 2024). Otro trabajo planteó preocupaciones éticas a medida que proliferan las gafas inteligentes (Tretter et al., 2024). Sin embargo, la investigación sobre cuestiones culturales y de identidad más amplias fue escasa: un estudio abordó las diferencias de género con respecto a la multitarea de realidad mixta (Abbas y Jeong, 2024). Hay una escasez de trabajos de revistas que muestren consideraciones culturales estándar, y no existe literatura significativa con perspectivas de economía política, feminismo y otras teorías relacionadas. Esta tendencia ha demostrado ser cierta desde el inicio de Social Grammars of Virtuality y es esperable dadas las posturas epistemológicas en nuestro corpus. Sin embargo, subyacente a esto está la visión continua de XR como más útil cuando se complementa con otras tecnologías y prácticas.

Dicho esto, estas ausencias presentan una oportunidad constante para el trabajo teórico en el futuro. Esto se defendió explícitamente en un número especial del Journal of Media Psychology de este año: «El metaverso merece una exploración sólida y centrada en la teoría, especialmente considerando que estos nuevos entornos podrían ofrecer soluciones a problemas sociales y conductuales contemporáneos» (Beyea et al., 2025). El número intentó abordar esto modestamente —un artículo, por ejemplo, re teorizó las capacidades de la RA (Liao et al., 2025)—, pero aún es necesario que la teoría ocupe un lugar más destacado en los estudios sobre la RA.

Junto con esto, reconocer la influencia de la XR en la cultura (y la influencia de esta en la tecnología) parece cada vez más necesario. A medida que los medios inmersivos se abordan de forma más productiva, su ubicación cultural en profesiones, campos y prácticas

específicas sigue siendo esencial. Encontramos ejemplos fascinantes dentro del corpus que ilustran la presencia de la XR en la sociedad actual; en particular, algunos trabajos exploraron cómo se podría gestionar y mitigar las experiencias cercanas a la muerte. En un artículo, Ng et al. (2024) analizaron cómo responderían las personas en cuidados paliativos al uso de una experiencia de VR con HMD para mostrar el impacto de sus vidas al fallecer. Además, Glowacki (2024) detalla las experiencias cercanas a la muerte simulando la ingesta de alucinógenos en VR. Sin embargo, estos usos ocurren en contextos culturales críticos influenciados por diferentes nociones de muerte, espiritualidad, ingresos, edad, género y una variedad de otros factores, que, de comprenderse adecuadamente, solo profundizarían los beneficios de la tecnología. La creciente normalización de la XR como una herramienta comunicativa entre muchas, así como su mayor integración en el diseño de la experiencia del usuario, la inteligencia artificial y los medios comerciales, sugiere que los académicos deberían ampliar las teorías aplicables en los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA ANOTADA

de Souza, J., & Tartz, R. (2024). *Visual perception and user satisfaction in video see-through head-mounted displays: a mixed-methods evaluation*. *Frontiers in Virtual Reality*, 5(June), 1–20. <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1368721>

Este estudio investigó las barreras para la adopción generalizada de los visores de realidad extendida (XR), con especial atención a la calidad del dispositivo y a los problemas de ciberacoso que afectan la experiencia del usuario. La principal contribución demuestra que las medidas cuantitativas tradicionales por sí solas son insuficientes para evaluar los visores de realidad extendida (HDD) transparentes. El enfoque de métodos mixtos reveló información importante sobre la experiencia del usuario que las métricas de rendimiento puras pasarían por alto, como las preferencias de comodidad y las evaluaciones subjetivas de calidad. Este marco de evaluación integral proporciona una comprensión más matizada de las limitaciones de la tecnología XR y ofrece orientación para futuras mejoras en el diseño y desarrollo de visores de realidad extendida (HDD). Este artículo también amplía nuestro conocimiento sobre el ciberacoso y contribuye a cerrar la brecha existente en la teoría de la locomoción virtual.

Ladakis, I., Filos, D., & Chouvarda, I. (2024). *Virtual reality environments for stress reduction and management: a scoping review*. *Virtual Reality*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s10055-024-00943-y>

Como revisión exploratoria, Ladakis y sus colegas ofrecen un ejemplo emblemático de la integración de teorías ajenas a la investigación en realidad extendida (RX) en el análisis del trabajo inmersivo. Los autores reconocen inicialmente el valor de las tecnologías de realidad virtual en contextos educativos, pero posteriormente centran su atención en comprender los matices de los beneficios terapéuticos. Desde la perspectiva de la Teoría de la Restauración de la Atención y la Teoría de la Reducción del Estrés, destacan que, si bien existe un interés continuo en la RV para la terapia, los hallazgos reales son complejos a nivel de identificación, en particular en la comprensión y el registro de los niveles de estrés. Esto destaca cómo se pueden aplicar los conceptos teóricos para mejorar la comprensión de la eficacia de la RX en entornos reales.

Lu, H.-P., Chang, Y.-C., & Chen, C.-S. (2024). *How to trigger user's willingness to participate in the metaverse? An exploration of the significant factors of the metaverse*. *Virtual Reality*, 28 (2), 1–16.

A medida que la confluencia de tecnologías — conocida como el "metaverso" e integrada por la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas y los medios inmersivos— continúa

afianzándose, crece el interés por comprender cómo y de qué maneras los usuarios podrían participar más allá de la publicidad exagerada,. Asimismo, se expande la cantidad de literatura que aborda la temática (p. ej., Lim et al., 2025). Este estudio se centra principalmente en este tema, y sus hallazgos destacan cómo la predisposición hacia entornos y juegos virtuales (p. ej., Second Life y Play-to-Earn) influye en la disposición de los usuarios. Además, el análisis se sustenta en un conjunto claro de teorías de los medios, específicamente la Teoría de la Autoeficacia y la Teoría de la Acción Razonada, lo que proporciona una base sólida para futuras investigaciones.

Marto, A., & Gonçalves, A. (2024). A scope of presence-related feelings in AR studies. Virtual Reality, 28 (1), 1–14. Reconociendo la continua proliferación de dispositivos de RA, esta revisión exploratoria destacó la distinción crucial de que las nociones de presencia difieren significativamente en las experiencias aumentadas en comparación con aquellas con oclusión total. El artículo identifica importantes limitaciones en la investigación actual, que se centra principalmente en cuestionarios y escenarios limitados. Cabe destacar que proporciona análisis valiosos y detallados de la presencia como constructo teórico, su relación con la inmersión y la telepresencia, e incluye el concepto en las medidas analizadas.

REFERENCIAS

Abbas, S., & Jeong, H. (2024). Unveiling gender differences: a mixed reality multitasking exploration. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 1308133.

Alarcon-Urbistondo, P., Perez-Aranda, J., & Casado-Molina, A. (2024). Key determinants of intention to use virtual reality in medical training. *Virtual Reality*, 28(2), 1–18.

Barton, A. C., Do, M., Sheen, J., & Byrne, L. K. (2024). The restorative and state enhancing potential of abstract fractal-like imagery and interactive mindfulness interventions in virtual reality. *Virtual Reality*, 28(1), 1–20.

Beyea, D., Foxman, M., Ratan, R., Klebig, B., Leith, A., & Chen, V. H. H. (2025). Metaverse-mediated communication: A call for theory-driven XR research. *Journal of Media Psychology*, 37(2), 61–63.

Biocca, F. (1992). Communication Within Virtual Reality: Creating a Space for Research. *The Journal of Communication*, 42(4), 5–22.

Crowe, S. E., Yousefi, M., Shahri, B., Piumsomboon, T., & Hoermann, S. (2024). Interactions with virtual therapists during motor rehabilitation in immersive virtual environments: a systematic review. *Frontiers in Virtual Reality*, 5. <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1284696>

Dall'Olio, L., Amrein, O., Gianettoni, L., & Martarelli, C. S. (2024). The impact of fantasy on young children's recall: a virtual reality approach. *Virtual Reality*, 28(1), 1–21.

Dekker, E., Whitburn, D., & Preston, S. (2024). Adoption of immersive-virtual reality as an intrinsically motivating learning tool in parasitology. *Virtual Reality*, 28(3). <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01016-w>

Farabbi, A., & Mainardi, L. (2024). Assessing the impact of stimulation environment and error probability on ErrP EEG response, detection and subject attention: an explorative study. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1433082.

Feder, S., Püschel, A., Şimşek, M., Odenwald, S., Bendixen, A., & Einhäuser, W. (2024). Visual search for hazardous items: using virtual reality (VR) in laypersons to test wearable displays for firefighters. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1252351.

Girondini, M., Frigione, I., Marra, M., Stefanova, M., Pillan, M., Maravita, A., & Gallace, A. (2024). Decoupling the role of verbal and non-verbal audience behavior on public speaking anxiety in virtual reality using behavioral and psychological measures. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1347102.

Glenn, C. P., & Coxon, M. (2024). Individual differences in processing multisensory information predict presence in different virtual reality environments. *Virtual Reality*, 29(1), 1–17.

Glowacki, D. R. (2024). VR models of death and psychedelics: an aesthetic paradigm for design beyond day-to-day phenomenology. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 1286950.

Gonzalez-Franco, M., Steed, A., Berger, C. C., & Tajadura-Jiménez, A. (2024). The impact of first-person avatar customization on embodiment in immersive virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1436752.

Guzmán, D. E., Rengifo, C. F., Guzmán, J. D., & Garcia Cena, C. E. (2024). Virtual reality games for cognitive rehabilitation of older adults: a review of adaptive games, domains and techniques. *Virtual Reality*, 28(2), 1–17.

Hartfill, J., Bormann, F., Riebandt, K., Kühn, S., & Steinicke, F. (2024). Objective agency measurement of different hand appearances in virtual reality with intentional binding. *Virtual Reality*, 29(1), 1–13.

Held, N., Soeter, M., van Gent, S., Wiezer, N., Loots, G., & Niamut, O. (2024). Immersive gathering: insights into virtual workplace meetings. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1391662.

Higgins, S., Alcock, S., Aveiro, B. D., Daniels, W., Farmer, H., & Besharati, S. (2024). Perspective

matters: a systematic review of immersive virtual reality to reduce racial prejudice. *Virtual Reality*, 28(3), 1–21.

Ismael, M., McCall, R., McGee, F., Belkacem, I., Stefas, M., Baixauli, J., & Arl, D. (2024). Acceptance of augmented reality for laboratory safety training: methodology and an evaluation study. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1322543.

Kumarapeli, D., Jung, S., & Lindeman, R. W. (2024). Privacy threats of behaviour identity detection in VR. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1197547.

Ladakis, I., Filos, D., & Chouvarda, I. (2024). Virtual reality environments for stress reduction and management: a scoping review. *Virtual Reality*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s10055-024-00943-y>

Laine, J., Rastas, E., Seitamaa, A., Hakkarainen, K., & Korhonen, T. (2024). Immersive virtual reality for complex skills training: content analysis of experienced challenges. *Virtual Reality*, 28(1), 1–26.

Landeck, M., Unruh, F., Lugin, J.-L., & Latoschik, M. E. (2024). Object Motion Manipulation and time perception in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1390703.

Liao, T., Xu, K., & Bennett, S. M. (2025). Is it time for augmented reality theory?: Identifying challenges and pathways for theoretical development. *Journal of Media Psychology*, 37(2), 64–76.

Lim, C., Ratan, R., Pandita, S., Foxman, M., Hales, G. E., Liu, H., Lei, Y. S., & Beyea, D. (2025). Openness to the metaverse workplace: Zoom fatigue and metaverse information seeking mediate gender inequities. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2025(1), 8808655.

Makani, A., Saryazdi, R., Givetash, S., & Keshavarz, B. (2024). The presence of an avatar can reduce cybersickness in Virtual Reality. *Virtual Reality*, 28(4), 163.

Miguel-Alonso, I., Checa, D., Guillen-Sanz, H., & Bustillo, A. (2024). Evaluation of the novelty effect in immersive Virtual Reality learning experiences. *Virtual Reality*, 28(1), 1–23.

Neuwirth, L. S., Ng, S., Devors, S., Lonjon, N., & Ros, M. (2024). Comparing fourth-year medical students’ procedural surgical skill learning outcomes between third-person point-of-view video lectures and first-person point-of-view immersive virtual reality: a pilot study of surgically implanting a subdermal drain on cadavers. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1408092.

Ng, R., Woo, O. K. L., Eckhoff, D., Zhu, M., Lee, A., & Cassinelli, A. (2024). Participatory design of a virtual reality life review therapy system for palliative care. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1304615.

Oberdörfer, S., Birnstiel, S., & Latoschik, M. E. (2024). Proteus effect or bodily affordance? The influence of virtual high-heels on gait behavior. *Virtual Reality*, 28(2), 1–19.

Patel, S., & Baker, N. A. (2024). Exploring perspectives on engagement in interactive virtual reality for chronic pain management: insights from a content analysis study. *Virtual Reality*, 28(4), 1–8.

Renata, A., Guarese, R., Takac, M., & Zambetta, F. (2024). Assessment of embodied visuospatial perspective taking in augmented reality: insights from a reaction time task. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1422467.

Slater, M., Banakou, D., Beacco, A., Gallego, J., Macia-Varela, F., & Oliva, R. (2022). A Separate Reality: An Update on Place Illusion and Plausibility in Virtual Reality. In *Frontiers in Virtual Reality* (Vol. 3). <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.914392>

Solmaz, S., Gerling, K., Kester, L., & Van Gerven, T. (2024). Behavioral intention, perception and user assessment in an immersive virtual reality environment with CFD simulations. *Virtual Reality*, 28(2), 1–20.

Suzuki, T., Uhde, A., Nakamura, T., Narumi, T., Amemiya, T., & Kuzuoka, H. (2024). Be sensei, my friend: Aikido training with a remotely controlled proxy trainer. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1392635.

Teixeira, J., Miellet, S., & Palmisano, S. (2024). Effects of vection type and postural instability on cybersickness. *Virtual Reality*, 28(2), 1–18.

Tretter, M., Hahn, M., & Dabrock, P. (2024). Towards a smart glasses society? Ethical perspectives on extended realities and augmenting technologies. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1404890.

Uhm, J.-P., Lee, H.-W., Kim, S., & Han, J.-W. (2024). First-person experience in Virtual reality sport advertisements: Transportation of embodied empathy. *Presence*, 33, 269–286.

Yan, W., Lowell, V. L., & Yang, L. (2024). Developing English language learners’ speaking skills through applying a situated learning approach in VR-enhanced learning experiences. *Virtual Reality*, 28(4), 1–23.

1. Las tres revistas examinadas en esta sección del informe son *Virtual Reality* (178 artículos en 4 números), *Frontiers in Virtual Reality* (105 artículos en 2 números) y *Presence: Virtual and Augmented Reality* (23 artículos en 2 números, uno de los cuales fue temático). Los dos autores de esta sección del informe leyeron los artículos y codificaron cada uno según los temas, basándose en las teorías utilizadas, para confirmar los puntos en común de su codificación en todo el corpus.
2. Nuestro énfasis.
3. Nuestro énfasis.

EL LENGUAJE DE LAS TECNOLOGÍAS Y EXPERIENCIAS DE REALIDAD EXTENDIDA

Katerina Girginova

CUESTIONES DE LENGUAJE EN LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de esta sección del informe es ayudarnos a comunicar mejor sobre [1]los medios de realidad extendida (XR) y nuestras experiencias con ellos. Esto se logra mediante el análisis de cómo diversos artículos académicos clave publicados en 2024 conceptualizan la XR. Resulta de especial interés el contexto en el que surge la XR y la nueva terminología o las cuestiones explícitas de comunicación que surgen. Al destacar conceptos interesantes más allá de términos populares como «inmersión» y «presencia», que siguen definiendo gran parte de la investigación en XR [2], podemos explorar con mayor rigor la amplitud y profundidad de las experiencias relacionadas a XR y, al mismo tiempo, crear un vocabulario útil.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Esta sección se basa en 306 artículos revisados por pares publicados en 2024 en tres revistas clave dedicadas a la investigación en XR, [3] más un artículo relevante encontrado más allá de este alcance. Las tres revistas clave examinadas aquí son las mismas que las examinadas en las otras secciones del informe y fueron elegidas porque son publicaciones revisadas por pares, específicamente dedicadas a XR. Los artículos fueron leídos y codificados inductivamente por el autor. En algunos casos, el enfoque de los artículos fue comunicativo; es decir, la intención del autor fue específicamente examinar cuestiones de creación de significado a través del lenguaje o introducir nuevos términos para ayudarnos a comunicar mejor sobre XR. En otros casos, el enfoque de los artículos no estaba abiertamente relacionado con cuestiones de comunicación. Aun así, en estos casos, el lenguaje utilizado para hablar sobre XR es revelador del estado y la exploración que se están llevando a cabo en la investigación sobre el tema.

HALLAZGOS CLAVE

Si bien el uso de la RV para la educación, la medición y el tratamiento del mareo por movimiento, y la presencia siguen siendo temas omnipresentes en muchos de los artículos analizados, la cohorte de publicaciones de 2024 muestra una gama mucho más amplia de temas y contextos de RV que en años anteriores. Esto abarca desde exploraciones multisensoriales de los medios de RV y sus conexiones con sustancias psicodélicas, hasta cuestiones de equidad en la producción virtual y ejemplos de tokens que pueden guiarnos de vuelta de las experiencias virtuales a la realidad.

En cuanto al lenguaje específico utilizado para describir la XR, sigue habiendo un conjunto limitado de términos y autores citados, al igual que en años anteriores de este informe. No obstante, dado el conjunto más amplio de temas y contextos explorados en 2024, surgen dos temas interrelacionados (aunque no predominantes entre los artículos) y nuevo vocabulario útil para añadir a nuestra caja de herramientas de investigación en XR. Estos temas 1) exploran las periferias de las experiencias actuales de XR mediante un renovado enfoque multisensorial y 2) ofrecen una profundización en la producción virtual, un contexto específico del trabajo en XR. En cuanto al nuevo vocabulario que emerge, términos como "muestras de la realidad" y "estética numadelica" (descritos con más detalle en la bibliografía anotada a continuación) pueden ofrecer nuevas formas de pensar en la XR e inspirar nuevas líneas de investigación. Además, este vocabulario también puede definir mejor cómo se produce la inmersión y la presencia, temas que, a pesar de su popularidad, siguen generando debate. The two themes that emerge from 2024's cohort of articles are described below and then illustrated in more depth through the annotated bibliographies.

Los dos temas que surgen de la cohorte de artículos de 2024 se describen a continuación y luego se ilustran con detenimiento a través de las bibliografías comentadas.

BIBLIOGRAFÍA ANOTADA: UNA SELECCIÓN DE ARTÍCULOS QUE MUESTRAN LOS TEMAS

1. Tema 1: Un enfoque multisensorial renovado. Varios artículos argumentan que nuestras realidades conscientes están mediadas por nuestros sentidos (Glowacki, 2024; Hancock, 2024; Lopes et al., 2024; Sawahata , Harasawa y Komine, 2024; Sun et al., 2024) y, por lo tanto, impulsan una extensión de las experiencias de XR actuales en direcciones multisensoriales que se alejan de la estética actual. A su vez, algunos de estos artículos también pueden plantear preguntas más grandes, audaces y éticamente inquisitivas como ¿qué sucede cuando alcanzamos el objetivo aparentemente final de hacer que las experiencias virtuales sean indistinguibles de la realidad? Si bien estas preguntas en sí mismas pueden no ser nuevas, sus respuestas ofrecen perspectivas que se basan en nuevos desarrollos.
2. Tema 2: Reflexiones prácticas sobre las prácticas de producción virtual. Este tema refleja el auge de la producción virtual en los sectores de los medios de comunicación y el entretenimiento, y se vio parcialmente reforzado por un número especial sobre Visualización Inmersiva en la revista Presence. Realidad virtual y aumentada. Los artículos agrupados bajo este tema presentaron una reflexión sobre la historia de XR al detallar explícitamente cómo funciona la producción y visualización virtual, qué implican los desarrollos pasados y futuros, y cuáles fueron las prácticas y promesas fallidas o exitosas que las sustentaron (ver, por ejemplo: Swords & Willment , 2024; Wischgoll , 2024). Los nombres y acrónimos dados a tecnologías específicas (CAVE, ART, GeoWall , AccessBot , etc.) también son reveladores y reflejan la evolución lingüística de las visiones de sus diseñadores a lo largo del tiempo. Además, surge la necesidad de construir un vocabulario que refleje las prácticas híbridas pero únicas que sustentan la producción virtual, lo que respalda aún más los informes recientes de la industria que demandan el mismo desarrollo (Bennett et al., 2024; Bennett & Murphy, 2020).

Hancock, P. A. (2024). Tokens of Reality: On the Prospective Nature of Virtual Consciousness. PRESENCE: Virtual and Augmented Reality, 33, 469-480.

Este artículo introduce el concepto de indicios de la realidad para preguntarnos cuál será el talismán que nos guiará de regreso a esa realidad cuando nuestra tecnología avance tanto que sea imposible distinguir sus producciones de la realidad. Además, plantea la importante pregunta: ¿qué habremos logrado al superar las barreras técnicas para alcanzar ese estado aparentemente deseado?

Para plantear la búsqueda de indicadores individuales de la realidad, el autor argumenta que nuestras realidades conscientes están mediadas idiosincráticamente por nuestros sentidos e introduce el término «aumento de la visualización perceptual» para describir las tecnologías de XR que creamos y que median aún más nuestra percepción. Sin embargo, Hancock señala que el ritmo de desarrollo del aumento de la visualización perceptual no se sincroniza con nuestro propio desarrollo evolutivo para adaptarnos a estas tecnologías, de ahí la necesidad de indicadores de la realidad. Finalmente, Hancock propone el desarrollo de patrones de cognición neuroactivos como indicadores apropiados de la realidad (una prueba de Turing inversa), argumentando que los indicadores materiales serán insuficientes.

Al introducir críticamente el término “muestras de realidad” en el lenguaje de las experiencias de XR, este artículo evita la preocupación predominante por corregir fallos y mejorar la tecnología para centrarse en un futuro potencial donde vivamos entre virtualidades infinitas e indistinguibles . Además, el autor plantea importantes cuestiones de confianza, como las que surgen en torno a la tendencia actual de los deepfakes. De este modo, anima a los lectores a pensar en la desorientación más allá de las reacciones físicas a las experiencias de XR, como el mareo por movimiento, y a centrarse en técnicas de reorientación, un ejercicio útil incluso en el presente.

Swords, J., & Willment, N. (2024). The emergence of virtual production—a research agenda. Convergence, 30(5), 1557-1574.

Este artículo examina la práctica emergente de la producción virtual en las industrias del cine y la televisión, y las nuevas prácticas, posibilidades y problemas resultantes que crea. El autor ofrece tres maneras en que se está adoptando la producción virtual: 1) a través de acción en vivo con una pantalla verde o azul, 2) a través de pantallas LED para sets

virtuales, y 3) a través de filmaciones dentro de mundos virtuales. Los principales beneficios de la cinematografía virtual son la eficiencia en la producción y la reducción de costos. Los menores costos ambientales y la mayor flexibilidad laboral para los involucrados también se mencionan a menudo en la industria. Sin embargo, como señalan Swords y Willment, estos dos beneficios son más cuestionables. Además, los altos costos iniciales y las curvas de aprendizaje que actualmente limitan el acceso a la producción virtual a los estudios de alta gama, la convierten en una práctica exclusiva a pesar de la retórica inclusiva.

Los autores llaman a las prácticas de producción virtual en cine y televisión un “cambio de época”: “Un ecosistema de tecnologías y flujos de trabajo que se sitúan en la intersección de los efectos visuales establecidos en cine y televisión y los medios y tecnologías inmersivos” (p. 1558). La siguiente cita de un supervisor de producción virtual ejemplifica la sinergia única entre cine, televisión, efectos visuales y medios inmersivos más nuevos: “en su forma más simple, estamos construyendo un juego llamado “Filmmaking” (Rogers, 2020 - citado en Swords & Willment, pág. 1560). Si bien este artículo no introduce nuevos términos per se, traza nuevos territorios de la práctica de la realidad extendida y señala que, debido al rápido ritmo al que se está desarrollando la producción virtual, surgen problemas de comunicación: “las diferentes experiencias y trayectorias de los miembros del equipo de producción virtual pueden crear problemas de vocabulario, ya que la novedad de los flujos de trabajo, el equipo, el software y otras tecnologías implica la creación de un nuevo lenguaje” (pág. 1568). A su vez, la creación de un lenguaje común que describa las prácticas de producción virtual es clave para una variedad de factores, desde la capacitación (dado que, como menciona el artículo y otros informes, la demanda de trabajadores calificados supera ampliamente la oferta) hasta la evaluación del trabajo y las cuestiones de propiedad intelectual.

Glowacki, D. R. (2024). VR models of death and psychedelics: an aesthetic paradigm for design beyond day-to-day phenomenology. Frontiers in Virtual Reality, 4, 1286950.

Este artículo introduce el término “estética numadelica” para describir visualizaciones en realidad virtual que presentan los cuerpos como energía luminosa, en lugar de forma física. Basada en la propia experiencia del autor, la estética numadelica busca crear experiencias visuales que trasciendan las barreras del lenguaje racional para generar sensaciones terapéuticas que reduzcan la ansiedad ante la muerte, similares a las experimentadas con drogas psicodélicas o experiencias cercanas a la muerte.

Glowacki también teoriza sobre la estética numadelica utilizando conocimientos de psicología, fenomenología y neurociencia para comprender por qué logra sus resultados.

En términos más generales, Glowacki sostiene que la estética de la realidad extendida se limita mucho a imitar escenarios del mundo real que se basan en concepciones preexistentes que tenemos de cómo debería verse y sentirse el mundo que nos rodea, pero hay beneficios en romper estos límites. La palabra “ numadelic ” deriva de las palabras griegas “pneuma” (aliento o espíritu) y “ delein ” (revelar) (p. 2). Para teorizar lo numadelic , Glowacki crea un cuadrante en el que traza la especificidad estructural en un eje, y la rigidez simbólica en el otro. En un extremo del eje de especificidad estructural se encuentra la posibilidad estructural infinita de una imagen/estética que puede ser ampliamente interpretada, y en el otro extremo se encuentra una imagen/estética completamente colapsada o restringida que deja poco espacio para la interpretación. Asimismo, en un extremo del eje de representación simbólica se encuentra una alta rigidez simbólica (de nuevo limitando el espacio para la interpretación), y en el otro extremo, baja rigidez simbólica, abriendo espacio para la creación de varios significados. Según Glowacki, la estética numadelica es un enfoque no colapsado para la creación de significado, que se caracteriza por una baja especificidad estructural y una baja rigidez simbólica; conceptos que pueden ser útiles para interpretar la estética de la realidad extendida más allá de esta pieza.

REFERENCIAS

Bennett, J., Bryant, K., Dalton, P., Heath, C., Glushkova, K., Levstek, M., Lycett, M., Njoku, E., Saunders, W., Smyth, S., Wills, H., Whittaker, L., & Woods, A. (2024). StoryFutures Creative Industries Clusters Final Report. StoryFutures.com. https://www.storyfutures.com/uploads/docs/StoryFutures_Cluster_Final_Report_2024_Final-compressed.pdf

Bennett,J.,&Murphy,A.(2020).Skillsforimmersiveexperiencecreation.StoryFuturesAcademy, London. <https://www.storyfutures.com/uploads/images/SFICC-Report-2019-20.2.20.pdf>

Lopes, M. K. S., De Jesus Jr, B. J., Rosanne, O. M., Pardini, S., Appel, L., Smith, C., & Falk, T. H. (2024). Stop to smell the virtual roses: a mixed-methods pilot study on the impact of multisensory virtual reality nature experiences on feelings of relaxation. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1451704.

Rogers, S. (2020, January 29). Virtual Production and the future of filmmaking – an interview with Ben Grossmann Magnopus. *Forbes.com*.

Sawahata, Y., Harasawa, M., & Komine, K. (2024). Synergy and medial effects of multimodal cueing with auditory and electrostatic force stimuli on visual field guidance in 360° VR. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1379351.

Sun, W., Banakou, D., Świdrak, J., Valori, I., Slater, M., & Fairhurst, M. T. (2024). Multisensory experiences of affective touch in virtual reality enhance engagement, body ownership, pleasantness, and arousal modulation. *Virtual Reality*, 28(4), 1-16.

Wischgoll, T. (2024). Center for cyber-physical systems: Immersive visualization and simulation environment. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 33, 13-29.

1. La realidad extendida, o XR, es un término general que se refiere a tecnologías de realidad mixta, aumentada y virtual, entre otras. Sin embargo, en este caso, se centra casi exclusivamente en la realidad aumentada y virtual, temas clave de los artículos tratados.

2. Consulte la sección sobre Teorías en XR para obtener una discusión detallada sobre la aplicación de estos términos.

3. Las tres revistas dedicadas a la investigación en XR son *Virtual Reality* (178 artículos en 4 números), *Frontiers in Virtual Reality* (105 artículos en 2 números) y *Presence: Virtual and Augmented Reality* (23 artículos en 2 números, uno de los cuales fue un número temático). El artículo adicional proviene de la revista *Convergence* y se seleccionó mediante una búsqueda independiente debido a su relevancia para el tema.

AVANCES EN TECNOLOGÍAS XR

Jeffrey Vadala

Las tecnologías de realidad extendida (XR), que incluyen la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM), siguen transformando la forma en que las personas interactúan con la información digital y el espacio físico. Estas tecnologías influyen en la formación industrial, la sanidad, el entretenimiento, la educación y la comunicación social. Su naturaleza inmersiva, combinada con nuevos programas y hardware, impulsa la investigación interdisciplinaria. Esta sección del informe presenta un resumen de 305 artículos de tres influyentes revistas académicas: Presence: Virtual and Augmented Reality, Frontiers in Virtual Reality y Virtual Reality. El análisis de las publicaciones ofrece una visión general de las tecnologías actuales y las prioridades de investigación.

Para proporcionar una comprensión holística y detallada del ecosistema de investigación en XR, este análisis explora la pregunta: ¿Qué dispositivos de hardware y plataformas de software se utilizan y discuten predominantemente en los estudios contemporáneos de XR, y qué revela esto sobre la infraestructura tecnológica subyacente de la investigación en XR? Esta investigación se basa en un análisis estructurado de un conjunto de datos precompilado de 305 artículos. Scripts personalizados de Python, utilizando Paper-QA basado en LLM, generaron el conjunto de datos consultando temas, hardware y software de cada estudio. Esto generó un catálogo o sistema de búsqueda, contenido y específico, para abordar la pregunta anterior.

INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA: PREFERENCIAS DE DISPOSITIVOS Y SOFTWARE

El catálogo de tecnología ofrece información sobre los dispositivos y componentes de software específicos preferidos por los investigadores. Estas opciones reflejan sus capacidades, accesibilidad y tendencias del mercado.

Gafas de RV: El análisis de hardware revela una diversidad de gafas de RV utilizadas en los 305 artículos. Esta diversidad muestra una significativa sofisticación técnica y especialización para diferentes necesidades de investigación. El análisis identificó las siguientes gafas de RV:

- Las plataformas de investigación de alta gama incluyen Oculus Quest 2 (Meta), con una resolución de 1832x1920 por ojo y una frecuencia de actualización de 120 Hz, y HTC Vive Pro 2, con una resolución de 2448x2448 por ojo y seguimiento SteamVR 2.0. Valve Index ofrece el mayor campo de visión (130°), mientras que PlayStation VR2 (Sony) cuenta con una pantalla OLED y sensores avanzados.
- Las plataformas de investigación consolidadas incluyen la plataforma Meta (Oculus), ampliamente adoptada actualmente, junto con el líder inicial, el HTC Vive (con múltiples configuraciones), para el seguimiento a escala de sala. Tanto Oculus como HTC siguen siendo dispositivos de investigación fundamentales y dominantes. Si bien el hardware y el software de seguimiento ocular se han miniaturizado y muestran un gran potencial para la investigación y las aplicaciones de software, pocas plataformas de investigación consolidadas, aparte del HTC Vive Pro con pantalla AMOLED dual, ofrecen seguimiento ocular como una función de hardware integrada.
- La gama de sistemas especializados y heredados va desde el nVisor SX111 para aplicaciones industriales hasta el FOVE 0 y Meta Quest Pro, ambos con seguimiento ocular integrado.

La diversidad del hardware utilizado (véase el catálogo) demuestra que la investigación en RV ya no depende de un número limitado de plataformas de hardware. Con la incorporación de características especializadas por parte de los nuevos fabricantes de gafas en 2025, los investigadores tendrán cada vez más posibilidades de seleccionar gafas y desarrollar estudios especializados basados en necesidades técnicas como la precisión de seguimiento, el campo de visión, las pantallas 4k por cada ojo, la frecuencia de actualización y el seguimiento ocular.

MOTORES DE JUEGO Y PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE

El ecosistema de desarrollo XR integra múltiples plataformas de software, marcos y herramientas. El catálogo a continuación revela tanto motores de juego consolidados como plataformas especializadas emergentes:

- **Unity 3D** (156 artículos): Como la plataforma más utilizada para el desarrollo de modelos de RA y RV, Unity ofrece una notable versatilidad. Su popularidad se debe a su extensa documentación, compatibilidad multiplataforma, una comunidad activa y sólidas capacidades de prototipado.
- **Unreal Engine** (25 artículos): conocido por sus scripts Blueprint y su soporte multiplataforma, Unreal Engine es compatible con las plataformas VR más populares (incluidas SteamVR y HoloLens 2) y admite estándares abiertos como OpenXR .

SDKs AR/VR y marcos:

- **ARCore** (2 artículos): proporciona kits de plataforma integrales para aplicaciones de RA, particularmente destacados en la educación en ingeniería y el desarrollo de RA móvil.
- **ARKit** (3 artículos): el marco de desarrollo de AR de Apple, que permite aplicaciones de AR sofisticadas en plataformas iOS.
- **SteamVR SDK** (31 artículos): compatibilidad con una amplia gama de cascos de realidad virtual, incluidos Valve Index, Vive Pro 2 y dispositivos Windows Mixed Reality.
- **Vuforia** (8 artículos): Esta plataforma ofrece una notable versatilidad en aplicaciones de RA en diversas disciplinas de ingeniería, con sólidas capacidades de visión artificial y seguimiento.

Herramientas de desarrollo especializadas:

- **3ds Max y Blender**: los investigadores utilizan ampliamente estas herramientas para el modelado y renderizado 3D en aplicaciones AR/VR, y Blender es particularmente popular en la investigación de ingeniería eléctrica y mecánica.
- **Assemblr Edu**: Plataforma de RA especializada para aplicaciones educativas.

- **OpenXR**: como estándar abierto, OpenXR recibe soporte de los principales motores, lo que promueve la compatibilidad entre plataformas y reduce la fragmentación de la plataforma.

El panorama del software revela un ecosistema maduro. Equilibra la accesibilidad (Unity, Blender) con capacidades especializadas (Vuforia, ARCore) y compatibilidad multiplataforma (OpenXR , Unreal Engine).

DISPOSITIVOS DE RA

El análisis identifica varios dispositivos de RA destacados, lo que demuestra la creciente sofisticación de las plataformas de investigación de RA.

- **Microsoft HoloLens 2:** este visor óptico transparente de realidad aumentada (RA) utiliza escaneo láser con guías de ondas y combinadores ópticos basados en rejillas. Alcanza una resolución de imagen de 10 a 15 ciclos por grado. HoloLens 2 es una plataforma líder para mapeo espacial, reconocimiento de gestos y renderizado holográfico. Microsoft ha interrumpido el desarrollo de este visor y su software.
- **Epson Moverio BT-300:** este HMD AR compacto cuenta con una pantalla micro-OLED con una densidad de píxeles de 1280 × 720 y un campo de visión de 23°, lo que lo hace adecuado para investigación especializada.
- **Magic Leap One:** siendo un dispositivo de RA independiente, esta plataforma superpone imágenes digitales al mundo real y ofrece un conjunto diferente de especificaciones técnicas que las de HoloLens.

Estos dispositivos de RA representan diferentes enfoques para la investigación en realidad aumentada. Abarcan desde computación espacial de alta gama (HoloLens 2) hasta sistemas portátiles de micropantallas (Epson Moverio) y plataformas independientes (Magic Leap One), lo que permite una investigación diversa. El campo de la RA sigue siendo pequeño, probablemente debido a los costos asociados con la producción a gran escala de tecnología de visualización de guía de ondas.

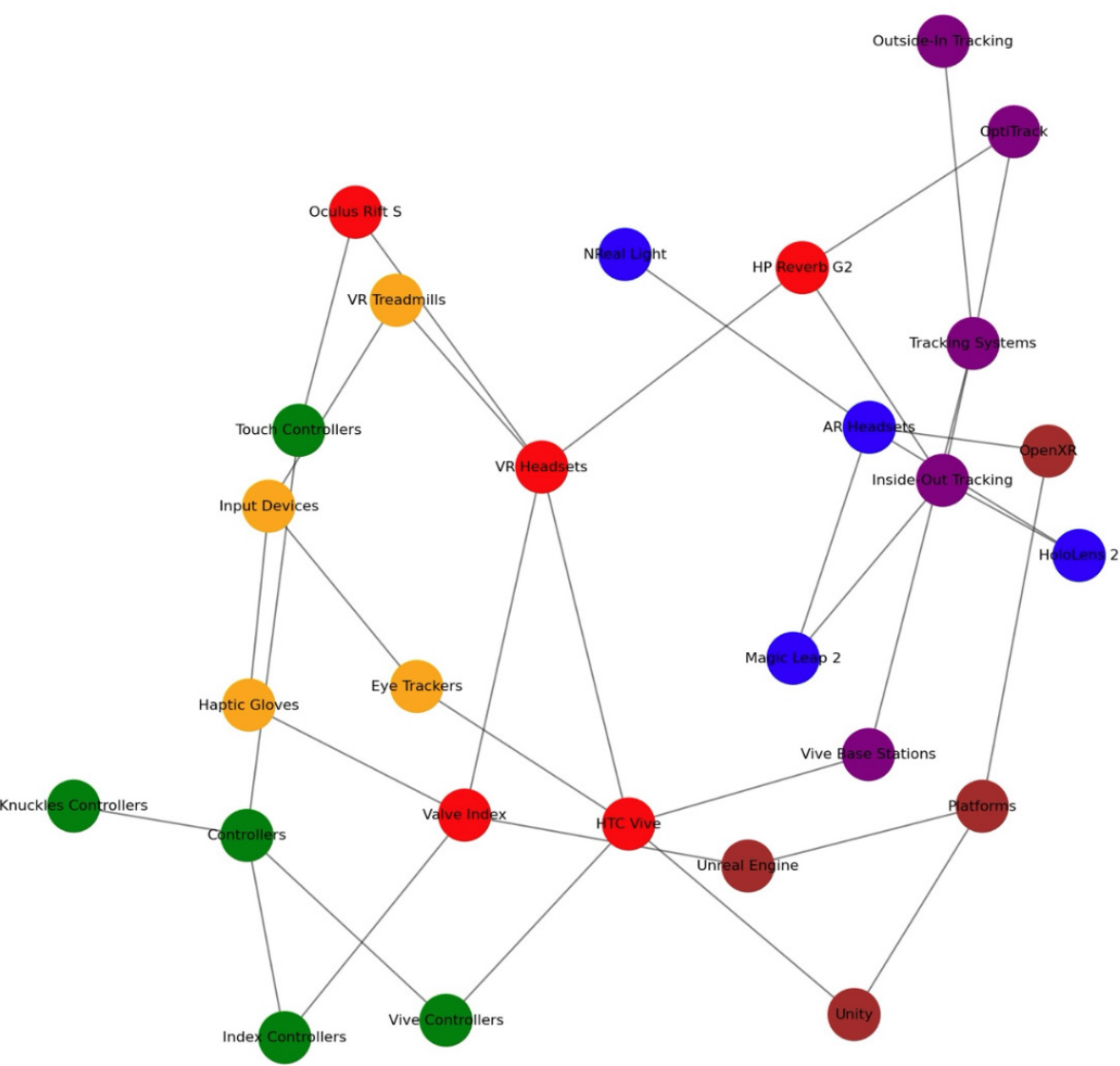
Los investigadores utilizan una amplia gama de tecnologías. Los sistemas de seguimiento y captura de movimiento incluyen el seguimiento de adentro hacia afuera (Oculus Quest, HoloLens), varios sistemas SLAM (viSLAM , ORB-SLAM3), sistemas OptiTrack para captura de alta precisión y SteamVR para seguimiento a escala de sala. Para la entrada y la interacción, los equipos utilizan los controladores Meta Quest y HTC Vive , Oculus Touch y Leap Motion para el seguimiento manual. Dispositivos hápticos como los guantes Manus VR y PneuGlove proporcionan retroalimentación táctil.

CATEGORÍAS DE TECNOLOGÍA ADICIONALES

Los investigadores utilizan una amplia gama de tecnologías. Los sistemas de seguimiento y captura de movimiento incluyen el seguimiento de adentro hacia afuera (Oculus Quest, HoloLens), varios sistemas SLAM (viSLAM , ORB-SLAM3), sistemas OptiTrack para captura de alta precisión y SteamVR para seguimiento a escala de sala. Para la entrada y la interacción, los equipos utilizan los controladores Meta Quest y HTC Vive , Oculus Touch y Leap Motion para el seguimiento manual. Dispositivos hápticos como los guantes Manus VR y PneuGlove proporcionan retroalimentación táctil.

Los sistemas de audio y sonido espacial también son cruciales. Esta categoría incluye micrófonos ambisónicos (SoundField SPS200, RØDE NT-SF1), matrices de altavoces esféricos y tecnologías de audio espacial como ambisónicos (FOA, HOA) y renderizado binaural. **El hardware informático** es robusto, con GPUs como el nVidia A4000, CPUs AMD Ryzen 7 y grandes configuraciones de memoria. Finalmente, **los sensores y sistemas de medición** son diversos, incluyendo cámaras RGB-D (Intel RealSense D455), sensores IMU, sistemas de seguimiento ocular, sensores fisiológicos (EEG, ECG) y escáneres láser para mapeo 3D.

Ecosistema de dispositivos y plataformas XR (Codificado por colores según la categoría)



Esta red utiliza dos clases de enlaces para capturar tanto las agrupaciones formales como los patrones de uso reales. Los enlaces de pertenencia a la categoría conectan cada dispositivo con su grupo (por ejemplo, “HTC Vive ” a “Gafas de RV”). Los enlaces de emparejamiento del mundo real muestran hardware y software que funcionan juntos, como gafas con controladores nativos, gafas con hardware de seguimiento, periféricos compartidos entre modelos y plataformas de desarrollo con gafas mediante estándares como OpenXR. Después de definir estos bordes, un algoritmo dirigido por fuerza (springlayout) coloca los nodos de forma que los elementos con muchos enlaces compartidos se acerquen y los que tienen menos se separen. Cada nodo está coloreado por categoría para guiar la interpretación: rojo para gafas de RV, azul para gafas de RA, verde para controladores, morado para sistemas de seguimiento, naranjapara otros dispositivos de entrada y marrón para plataformas de desarrollo.

En este mapa, vemos que los visores de RV forman el clúster más denso (como se indica por el número de bordes y conexiones), lo que refleja un ecosistema maduro de visores, controladores, rastreadores y motores. Los visores de RA se ubican en un clúster más pequeño, lo que sugiere espacio para expandir los periféricos nativos y la compatibilidad con la plataforma. Los periféricos compartidos, como los rastreadores oculares, los guantes hápticos y las cintas de correr de RV, se conectan entre visores y destacan lo que conduce la innovación en la inmersión. Los sistemas de seguimiento, tanto de adentro-hacia-afuera como de afuera-hacia-adentro, se conectan tanto a dispositivos de RV como de RA, lo que convierte al seguimiento universal en la columna vertebral de la XR. Estándares como OpenXR unifican el panorama al conectarse a todos los visores compatibles y reducir la fragmentación. Los dispositivos con pocos enlaces cruzados marcan brechas y nichos donde los nuevos SDK, periféricos o integraciones pueden agregar valor.

INTERSECCIONES Y SINERGIAS

La revisión revela diversas conexiones que vinculan temas, dominios y tecnologías de investigación. El trabajo aplicado en formación y educación ilustra esta interdependencia. A menudo, los estudios se basan en la plataforma Oculus (ahora llamada Meta) por su bajo coste y rendimiento fiable. Los sistemas de entornos virtuales aparecen en 126 artículos, mientras que 17 proyectos utilizan simuladores ambientales especializados. Unity, mencionado en 156 artículos, acelera el desarrollo al ofrecer canales para la creación de escenas y simulación ambiental (Terkaj et al., 2024; Banquero et al., 2024). En cuanto a los temas clave de la educación y la formación, los investigadores combinan las lecciones con herramientas de evaluación para monitorizar la transferencia de habilidades y medidas como la carga cognitiva.

Las investigaciones sobre el factor humano constituyen un segundo grupo. Las investigaciones sobre presencia, psicología cognitiva y retroalimentación sensorial se centran principalmente en el campo General y el de Psicología. En este sentido, las plataformas Oculus y HTC proporcionan la mayoría de los dispositivos de laboratorio (Hoffman et al., 2024; Glenn y Coxon, 2024). Más allá del rastreo básico, los investigadores están comenzando a recopilar señales fisiológicas y conductuales mediante sensores de medición y plataformas de análisis (Zeng et al., 2024; Cho et al., 2024). Los estudios sobre el mareo cibernético, aunque menos frecuentes que en otras áreas de investigación de RV/RA, utilizan sistemas de evaluación y retroalimentación para identificar la incomodidad y evaluar medidas de mitigación (Vlahovic et al., 2024; Joolee et al., 2024).

Los artículos centrados en la atención médica combinan la medición del rendimiento con la retroalimentación sensorial. Monitorizan las ganancias motoras tras la terapia basada en RV (Alrashidi et al., 2024) y diseñan ejercicios hápticos para la rehabilitación (Quintana et al., 2024). Plataformas como Unity se combinan con las herramientas específicas de la plataforma proporcionadas por Meta para implementar aplicaciones y prototipos en las consultas (Pedram et al., 2024; Albeedan et al., 2024). Dado que la seguridad del paciente exige evidencia, la mayoría de los estudios utilizan instrumentos de evaluación detallados para confirmar la eficacia (Hjellvik y Mallam, 2024; Narciso et al., 2024).

La investigación sobre interacción social continuó explorando la conexión entre la tecnología y el comportamiento. El trabajo en entornos multiusuario se basa en temas sociopsicológicos, a la vez que se nutre de la interacción persona-computadora y la teoría

de la presencia. Los investigadores exploraron el uso de entornos compartidos para comprender la interacción en un espacio virtual compartido (cita). Auriculares inalámbricos como Meta Quest facilitaron esto al ofrecer auriculares económicos con ultraportabilidad y APIs para el movimiento sin ataduras y la colaboración grupal. Algunos investigadores incluso utilizaron la compatibilidad de los auriculares con el reconocimiento de voz y gestos (Ban et al., 2024), mientras que otros utilizaron dispositivos adicionales de seguimiento manual para explorar las interacciones con señales no verbales (Cho et al., 2024) (cita).

En resumen, al observar el creciente campo de la XR, observamos dos factores sinérgicos clave. En primer lugar, Unity continúa actuando como una fuerza unificadora y estandarizadora en el contexto de la investigación con sistemas de entornos virtuales. Gracias a su amplia gama de dispositivos y cascos, Unity puede considerarse un elemento clave en la investigación, ofreciendo a los investigadores una vía sencilla y bien desarrollada para la investigación en XR. En segundo lugar, es importante destacar que la gama de herramientas de investigación, incluyendo software de evaluación y sensores multimodales, crece constantemente. Esto refuerza el creciente rigor metodológico del campo, a la vez que proporciona a los investigadores más herramientas de investigación (véase el creciente catálogo de sensores de código abierto de OpenBCLS). La aparición de Microsoft HoloLens en estudios seleccionados sugiere una trayectoria paralela para la realidad aumentada, pero la discontinuación de este casco probablemente significará que la RA seguirá padeciendo una falta de investigación desarrollada hasta que una gran empresa de hardware con una sólida financiación produzca un nuevo casco de este tipo.

DISCUSIÓN

El análisis de artículos de investigación de Presence, Frontiers in Virtual Reality y Virtual Reality presenta un panorama claro. A mediados de 2025, el campo de investigación muestra un mayor enfoque en los usos pragmáticos de las tecnologías de XR. Más específicamente, una de las conclusiones principales del análisis temático es el doble enfoque en la investigación en XR. En primer lugar, existe un impulso sustancial hacia la utilidad aplicada, como lo demuestran las posiciones de liderazgo de la “Formación Inmersiva” y la “Tecnología Educativa”. Esto refleja un claro reconocimiento del potencial de XR para ofrecer soluciones tangibles. Los investigadores están demostrando los beneficios pedagógicos y de eficiencia de la XR en la adquisición de habilidades industriales (Terkaj et al., 2024), procedimientos médicos de alto riesgo (Singh et al., 2024) y el desarrollo de habilidades blandas (Yan et al., 2024; Geng et al., 2024). La presencia de estos temas indica que la investigación está progresando más allá de los estudios de viabilidad hacia la optimización y la eficacia. Este enfoque pragmático impulsa la adopción y la inversión en grandes sectores como el gubernamental y el militar. La capacidad de simular escenarios peligrosos o costosos en un entorno virtual seguro y repetible es un claro impulsor de esta tendencia, como se observa en estudios sobre extinción de incendios (Narciso et al., 2024) o entrenamiento quirúrgico (Postema et al., 2024). Tras su venta a Auduril Industries de Lucky Palmer, el uso militar y el interés en la XR son emblemáticos en la compra de la plataforma HoloLens AR, la que se encuentra actualmente cerrada (cita). Aunque no está claro cómo se utilizarán las HoloLens 2, es justo decir que el “entrenamiento” sería un componente.

En segundo lugar, una parte significativa de la investigación continúa dedicándose a comprender la experiencia humana en la Reproducción Externa (RE). Temas como “Inmersión en la Presencia”, “Psicología Cognitiva” y “Retroalimentación Sensorial” representan un compromiso para desentrañar los mecanismos que subyacen a las experiencias inmersivas. La investigación sobre la presencia (Hoffman et al., 2024) y la integración multisensorial (Sun et al., 2024; Fucci et al., 2024) es crucial para diseñar experiencias auténticas y atractivas. Al mismo tiempo, las investigaciones sobre la carga cognitiva (Wen et al., 2024), la percepción (Moosavi et al., 2024; de Souza y Tartz, 2024) y la memoria (Monaro et al., 2024) son esenciales para optimizar las aplicaciones de XR. Este doble énfasis indica un campo prometedor que aborda tanto las necesidades prácticas como los fundamentos teóricos. Los hallazgos de estos estudios psicológicos fundamentan el diseño de entrenamiento, terapia e interfaces de usuario más eficaces.

A pesar de los avances en la investigación, el análisis revela desafíos persistentes. Destaca la comodidad ante el cibermareo. Si bien representa una pequeña proporción de los estudios (3,3 %), sigue siendo un problema generalizado para los usuarios, lo que impide a muchos usar la tecnología XR. La cantidad de investigación relacionada con el cibermareo puede ser baja, pero su importancia es alta para que la XR se expanda aún más en contextos de investigación o comerciales. Los investigadores están explorando estrategias de mitigación, desde la detección fisiológica (Yalcin et al., 2024; Sameri et al., 2024) hasta intervenciones de diseño como la presencia de avatar (Makani et al., 2024) y ajustes a la vección (Teixeira et al., 2024). Una solución definitiva sigue siendo difícil de alcanzar. Esto representa una barrera para la adopción generalizada de XR, especialmente para aplicaciones que requieren un uso prolongado.

La Interacción Humano-Ordenador (HCI) también es un tema de gran relevancia. Esto indica una búsqueda continua para perfeccionar la interacción de los usuarios con el contenido virtual. El trabajo va más allá de los simples métodos de entrada. Abarca interfaces gestuales intuitivas (Reski et al., 2024), retroalimentación háptica significativa (Terenti et al., 2024; Jacucci et al., 2024) y diseño holístico de la experiencia de usuario (Gong et al., 2024). A medida que las tecnologías de XR se vuelven más complejas, las demandas de investigación en HCI se intensificarán. La evaluación de la usabilidad sigue siendo un pilar fundamental de este tema (Zielke et al., 2024; Wang et al., 2024).

El catálogo tecnológico revela un ecosistema sofisticado y diverso que sustenta la investigación en XR. El análisis muestra una diversificación estratégica basada en los requisitos de investigación, no en la estandarización en una única plataforma. El panorama de las gafas de realidad virtual (VR) está mostrando avances técnicos notables. Los dispositivos ofrecen resoluciones desde 1080x1200 por ojo (sistemas antiguos) hasta 2448x2448 por ojo (plataformas más nuevas). Las frecuencias de actualización varían de 60 Hz a 144 Hz, y los campos de visión abarcan de 63° a 130°. Esta diversidad permite a los investigadores seleccionar plataformas óptimas para necesidades experimentales específicas, ya sea priorizando la fidelidad visual, la precisión de seguimiento o el seguimiento ocular. Dicho esto, con el reciente lanzamiento de las pantallas micro Oled 4k, estas resoluciones pronto serán superadas, ofreciendo a los investigadores, a partir de 2025,

pantallas que prácticamente parecen fotorrealistas en muchos contextos.

El panorama del software refuerza esta tendencia. La relevancia de Unity 3D refleja su accesibilidad y versatilidad. Herramientas especializadas como Vuforia y ARCore demuestran la madurez del ecosistema. La adopción del estándar OpenXR señala un avance hacia la interoperabilidad y la reducción de la fragmentación. Aunque aún no se ha adoptado ampliamente en el mundo de la investigación, Unreal Engine sigue ganando terreno en la industria comercial y del entretenimiento. Al combinarse con pantallas 4k por ojo, las nuevas tecnologías de iluminación y renderizado de Unreal 5 brindarán a los investigadores la oportunidad de examinar cómo responden los usuarios a entornos hiperrealistas. Con casi total certeza, nos acercaremos a experiencias de nivel Holodeck más pronto que tarde.

La aparición de sistemas de seguimiento integrales indica una evolución hacia una detección de movimiento más natural y precisa. Estos sistemas abarcan desde el seguimiento interno en dispositivos independientes hasta la captura de movimiento OptiTrack de alta precisión. La integración de sistemas de audio avanzados con ambisonics refleja la creciente atención a la investigación multisensorial.

Finalmente, el inventario de hardware informático subraya la intensidad computacional de la investigación moderna en XR. Incluye GPUs de gama alta como la NVIDIA A4000, procesadores especializados y grandes configuraciones de memoria, todo lo cual requiere una inversión significativa en infraestructura. A pesar de que la nueva tecnología de GPU impulsa la opción de ejecutar dichas pantallas 4K con potentes motores como Unreal 5, la escasez y el alto costo de las GPU siguen siendo un problema. Dado que el sector tecnológico destina enormes cantidades de recursos al consumo de GPU, es probable que la tendencia hacia la escasez y el alto costo continúe en el futuro previsible.

A pesar del dinamismo del campo, el análisis destaca una brecha crítica: la accesibilidad y la inclusión. Con solo cinco estudios centrados específicamente en este tema, este se encuentra considerablemente inexplorado. A medida que las tecnologías de XR se integran más profundamente en la sociedad, es fundamental garantizar que sean usables y equitativas para personas con capacidades diversas. La investigación especializada es crucial para promover el acceso equitativo y prevenir nuevas brechas digitales. El bajo volumen de

estudios sugiere que los esfuerzos de investigación van rezagados con respecto al desarrollo tecnológico. Los trabajos futuros deben priorizar el diseño para poblaciones diversas y el desarrollo de métricas integrales de accesibilidad.

La creciente presencia de entornos virtuales sociales también apunta a un área emergente de importancia. A medida que los espacios virtuales compartidos se vuelven más comunes, comprender la dinámica social se convertirá en un imperativo fundamental para la investigación. Esto incluye el estudio de la identidad virtual, la privacidad y la moderación. También requiere integrar perspectivas sociológicas y psicológicas con el desarrollo tecnológico.

LIMITACIONES

Estos hallazgos presentan limitaciones. El análisis se basa en un conjunto de datos precompilado, por lo que la calidad de los datos originales y su categorización influyen en los resultados. Las puntuaciones de “relevancia”, por ejemplo, se derivan de la metodología original y pueden ser subjetivas. El alcance también se limita a tres revistas. Si bien son influyentes, no representan toda la investigación sobre XR. No se incluyen investigaciones resultantes de conferencias, libros y otras revistas en campos como la medicina o la computación gráfica. Finalmente, no se incluyeron detalles sobre tarjetas gráficas, controladores genéricos y algunos sistemas de seguimiento, lo que limita la granularidad del análisis tecnológico.

CONCLUSIÓN

El entusiasmo en torno a un “metaverso” de consumo se desvaneció en 2024 y prácticamente desapareció durante la publicación de este informe. En la investigación, el metaverso nunca fue un enfoque principal. Impulsado principalmente por Meta y Mark Zuckerberg, el concepto generó entusiasmo y aumentó la inversión, dando a la XR un nuevo impulso. Sin llegar a consolidarse en una plataforma unificada ni en un mundo mercantilizado utilizado por una gran población, los investigadores continuaron las tendencias de años anteriores. Más específicamente, continuaron con un esfuerzo basado en la evidencia para resolver problemas concretos en la industria, la salud y la educación. Los temas de investigación dominantes son aplicados, no aspiracionales. El enfoque en la Formación Inmersiva (15,7%) y las Aplicaciones Sanitarias (9,2%) refleja las principales tendencias sociotécnicas actuales: la necesidad de teletrabajo y educación escalables, y la demanda de tecnologías terapéuticas personalizadas. El catálogo tecnológico muestra una historia similar de maduración. El hardware se ha diversificado y los motores de juego versátiles como Unity son comunes. La XR ya no es una herramienta de nicho, sino un ecosistema sofisticado para crear simulaciones de alta fidelidad.

La investigación práctica aquí referenciada puede considerarse como el establecimiento de las bases para integrar la realidad aumentada (XR) en los flujos de trabajo críticos de la economía global. Para cuando los auriculares se generalicen en dichos flujos de trabajo, probablemente no se parezcan en nada a los aparatosos dispositivos que ahora encadenan a los investigadores a sus laboratorios. En términos de uso real y portabilidad, los problemas de accesibilidad y el mareo cibernético ponen de manifiesto la necesidad de que la realidad aumentada (XR) evolucione. La tecnología es potente, pero para muchos sigue siendo incómoda o inutilizable. Los auriculares siguen siendo demasiado pesados para usarlos todo el día, y la tecnología de lentes ha madurado poco, dejando atrás a los usuarios con problemas de movilidad o visión. Sin duda, esto limita su adopción generalizada en los ámbitos comercial y de investigación.

Las soluciones para la inclusión no son evidentes. Mientras la sociedad lidia con la inclusión digital, el próximo imperativo de la comunidad XR es claro: cambiar el enfoque de lo posible a lo cómodo, equitativo y accesible. El recién lanzado Bigscreen Beyond busca abordar los problemas de tamaño y peso, pero sus lentes individualizadas y la configuración de su placa frontal lo hacen prácticamente inútil para la investigación.

Las nuevas tecnologías de IA podrían ayudar a abordar estos problemas. La próxima ola

DEVICE LISTINGS CATÁLOGO DE INVESTIGACIÓN DE REALIDAD EXTENDIDA 2024: LISTADOS COMPLETOS DE HARDWARE, SOFTWARE Y DISPOSITIVOS

GAFAS DE REALIDAD VIRTUAL: HTC VIVE

Mencionado en 108 artículos: - plataforma dominante en la investigación académica de VR

Ejemplos representativos:

- Hoffman, H. G., Seibel, C. C., Coron, L., Simons, L. E., Drever, S., Le May, S., ... & Flor, H. (2024). Increasing presence via a more immersive VR system increases virtual reality analgesia and draws more attention into virtual reality in a randomized crossover study. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1452486.
- Gonzalez-Franco, M., Steed, A., Berger, C. C., & Tajadura-Jiménez, A. (2024). The impact of first-person avatar customization on embodiment in immersive virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1436752.

OCULUS RIFT

Mencionado en 61 artículos: - plataforma legacy con relevancia de investigación continua

Ejemplos representativos:

- Suzuki, T., Uhde, A., Nakamura, T., Narumi, T., Amemiya, T., & Kuzuoka, H. (2024). Be sensei, my friend: Aikido training with a remotely controlled proxy trainer. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1392635.
- Koseki, Y., & Amemiya, T. (2024). Being an older person: modulation of walking speed with geriatric walking motion avatars. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1363043.

META QUEST

Mencionado en 53 artículos: - plataforma de realidad virtual popular para el consumidor

Ejemplos representativos:

- Abbas, S., & Jeong, H. (2024). Unveiling gender differences: a mixed reality multitasking

de avances en XR se definirá por la sinergia entre el poder inmersivo de XR y la inteligencia adaptativa de la IA. Los sistemas futuros utilizarán datos valiosos de rendimiento y retroalimentación sensorial para crear experiencias personalizadas, desde simulaciones de entrenamiento adaptativo hasta aplicaciones terapéuticas dinámicas. El reto para la década es hacer que ese valor sea accesible para todos.

- exploration. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 1308133.
- Zarouali, B. (2024). People's intentions to use metaverse technology: Investigating the role of gratifications and perceptions. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 33, 179-192.

MICROSOFT HOLOLENS
Mencionado en 51 artículos - auriculares AR líderes en investigación

Ejemplos representativos:

- Ismael, M., McCall, R., McGee, F., Belkacem, I., Stefas, M., Baixauli, J., & Arl, D. (2024). Acceptance of augmented reality for laboratory safety training: methodology and an evaluation study. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1322543.

GOOGLE GLASS
Mencionado en 1 artículo: - Plataforma de AR temprana

Ejemplo representativo:

- Tretter, M., Hahn, M., & Dabrock, P. (2024). Towards a smart glasses society? Ethical perspectives on extended realities and augmenting technologies. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1404890.

SOFTWARE PLATFORMS:
UNITY
Mencionado en 156 artículos - la plataforma de desarrollo más popular

Ejemplos representativos:

- Goh, C., Ma, Y., & Rizzo, A. (2024). Normative performance data on visual attention in neurotypical children: virtual reality assessment of cognitive and psychomotor development. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1309176.
- Jiang, M., Guo, X., Seno, T., Remijn, G. B., & Nakamura, S. (2024). Examination of the Effect

of the Real-Life Meaning of the Stimulus on the Self-Motion Illusion. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 33, 145-160.

STEAMVR SDK
Mencionado en 31 artículos - marco de desarrollo de VR

UNREAL ENGINE
Mencionado en 24 artículos - motor gráfico de alta fidelidad

Ejemplo representativo:

- Krüger, M., Gilbert, D., Kuhlen, T. W., & Gerrits, T. (2024). Game engines for immersive visualization: Using unreal engine beyond entertainment. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 33, 31-55.

BLENDER
Mencionado en 18 artículos - modelado y animación 3D

VUFORIA
Mencionado en 8 artículos - plataforma de desarrollo de AR

ARKIT
Mencionado en 3 artículos - marco de AR para iOS

ARCORE
Mencionado en 2 artículos - marco de AR de Android

MAGIC LEAP
Mencionado en 6 artículos - Plataforma de AR empresarial

EPSON MOVERIO

Mencionado en 2 artículos - gafas AR industriales

**SISTEMAS DE ENTORNOS VIRTUALES:
PLATAFORMAS DE ENTORNOS VIRTUALES**

Mencionado en 126 artículos - sistemas básicos de simulación de realidad virtual

Ejemplos representativos:

- Niki, K., Egashira, S., & Okamoto, Y. (2024). A real-time virtual outing using virtual reality for a hospitalized terminal cancer patient who has difficulty going out: a case report. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1269707.
- Ng, R., Woo, O. K. L., Eckhoff, D., Zhu, M., Lee, A., & Cassinelli, A. (2024). Participatory design of a virtual reality life review therapy system for palliative care. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1304615.

PLATAFORMAS DE SIMULACIÓN AMBIENTAL

Mencionado en 17 artículos - entornos de simulación especializados

Ejemplos representativos :

- Graf, L., Sykownik, P., Gradl-Dietsch, G., & Masuch, M. (2024). Towards believable and educational conversations with virtual patients. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1377210.
- Retz, C., Klotzbier, T. J., Ghellal, S., & Schott, N. (2024). CIEMER in action: from development to application of a co-creative, interdisciplinary exergame design process in XR. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1376572.

PLATAFORMAS ESPACIALES VIRTUALES

Mencionado en 4 artículos - entornos de computación espacial

Ejemplos representativos:

- Kaiser, K., Walters, S., Sheehy, K., Murray, E., & Spencer, K. (2024). Implementing the

technology shift from 2D to 3D: insights and suggestions for umpire educators. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1368648.

- Yashin, A. S., Lavrov, D. S., Melnichuk, E. V., Karpov, V. V., Zhao, D. G., & Dubynin, I. A. (2024). Robot remote control using virtual reality headset: studying sense of agency with subjective distance estimates. *Virtual Reality*, 28(3), 132.

MOTORES DE SIMULACIÓN

Mencionado en 2 artículos - física y sistemas de simulación

Ejemplos representativos:

- Hertwig, A. F., Brandewiede, A., & Feufel, M. A. (2024). Using virtual reality to support the design of work systems in 3P workshops: a use case from the automotive industry. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1268780.

PLATAFORMAS DE ESCENAS VIRTUALES

Mencionado en 2 artículos - sistemas de reconstrucción de escenas

Ejemplos representativos:

- Tabone, W., Happee, R., Yang, Y., Sadraei, E., García de Pedro, J., Lee, Y. M., ... & de Winter, J. (2024). Immersive insights: evaluating augmented reality interfaces for pedestrians in a CAVE based experiment. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1353941.

PLATAFORMAS DE REALIDAD VIRTUAL CONTEXTUAL

Mencionado en 1 artículo - sistemas de realidad virtual sensibles al contexto

Ejemplo representativo:

- Kaiser, K., Walters, S., Sheehy, K., Murray, E., & Spencer, K. (2024). Implementing the technology shift from 2D to 3D: insights and suggestions for umpire educators. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1368648.

PLATAFORMAS DE CONFIGURACIÓN VIRTUAL

Mencionado en 1 artículo - sistemas de configuración del entorno

Ejemplo representativo:

- Kaiser, K., Walters, S., Sheehy, K., Murray, E., & Spencer, K. (2024). Implementing the technology shift from 2D to 3D: insights and suggestions for umpire educators. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1368648.

PLATAFORMAS DE MUNDOS VIRTUALES

Mencionado en 1 artículo - mundos virtuales persistentes

Ejemplo representativo:

- MacArthur, C., Kukshinov, E., Harley, D., Pawar, T., Modi, N., & Nacke, L. E. (2024). Experiential disparities in social VR: uncovering power dynamics and inequality. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1351794.

HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN:
SISTEMAS DE EVALUACIÓN

Mencionado en 10 artículos - marcos de evaluación y valoración

Ejemplos representativos:

- Song, Z., & Evans, L. (2024). The museum of digital things: extended reality and museum practices. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1396280.
- Schlagowski, R., Volanti, M., Weitz, K., Mertes, S., Kuch, J., & André, E. (2024). The feeling of being classified: raising empathy and awareness for AI bias through perspective-taking in VR. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1340250.

PLATAFORMAS DE APLICACIONES

Mencionado en 8 artículos - marcos de desarrollo de aplicaciones

Ejemplos representativos:

- Amm, V., Chandran, K., Engeln, L., & McGinity, M. (2024). Mixed reality strategies for piano education. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1397154.

SISTEMAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Mencionado en 7 artículos - análisis y procesamiento de datos

Ejemplos representativos:

- Ban, Y., Inazawa, M., Kato, C., & Warisawa, S. I. (2024). VR communication simulation with scripted dialog elicits HPA axis stress. Frontiers in Virtual Reality, 4, 1302720.
- Ismael, M., McCall, R., McGee, F., Belkacem, I., Stefas, M., Baixauli, J., & Arl, D. (2024). Acceptance of augmented reality for laboratory safety training: methodology and an evaluation study. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1322543.

HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN

Mencionado en 6 artículos - instrumentos de medición y evaluación

Ejemplos representativos:

- Renata, A., Guarese, R., Takac, M., & Zambetta, F. (2024). Assessment of embodied visuospatial perspective taking in augmented reality: insights from a reaction time task. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1422467.
- Ismael, M., McCall, R., McGee, F., Belkacem, I., Stefas, M., Baixauli, J., & Arl, D. (2024). Acceptance of augmented reality for laboratory safety training: methodology and an evaluation study. Frontiers in Virtual Reality, 5, 1322543.

DISPOSITIVOS DE ENTRADA

Mencionado en 5 artículos - interacción y sistemas de entrada

Ejemplos representativos:

- Liu, S., & Lindlbauer, D. (2024). TurnAware: motion-aware Augmented Reality information delivery while walking. *Frontiers in virtual reality*, 5, 1484280.

SENSORES DE MEDICIÓN

Mencionado en 5 artículos - sistemas de sensores y medición

Ejemplos representativos:

- Guillen-Sanz, H., Checa, D., Miguel-Alonso, I., & Bustillo, A. (2024). A systematic review wearable biosensor usage in immersive virtual reality experiences. *Virtual Reality*, 28(2), 74.
- Michiels, N., Jorissen, L., Put, J., Liesenborgs, J., Vandebroeck, I., Joris, E., & Van Reeth, F. (2024). Tracking and co-location of global point clouds for large-area indoor environments. *Virtual Reality*, 28(2), 106.

SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Mencionado en 4 artículos - procesamiento y análisis de datos

Ejemplos representativos:

- Morales-Vega, J. C., Raya, L., Rubio-Sánchez, M., & Sanchez, A. (2024). A virtual reality data visualization tool for dimensionality reduction methods. *Virtual Reality*, 28(1), 41.

HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE INTERFAZ

Mencionado en 3 artículos - sistemas de diseño UI/UX

Ejemplos representativos:

- Reski, N., Alissandrakis, A., & Kerren, A. (2024). Designing a 3D gestural interface to support user interaction with time-oriented data as immersive 3D radar charts. *Virtual Reality*, 28(1), 30.

MARCOS DE DESARROLLO

Mencionado en 3 artículos - herramientas de desarrollo y creación de prototipos

PLATAFORMAS DE PRUEBA

Mencionado en 2 artículos - sistemas de prueba y validación

Ejemplos representativos:

- Ramírez, M., Müller, A., Arend, J. M., Himmelein, H., Rader, T., & Pörschmann, C. (2024). Speech-in-noise testing in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1470382.

SISTEMAS DE CONTROL

Mencionado en 2 artículos - sistemas de control y automatización

Ejemplos representativos::

- Yashin, A. S., Lavrov, D. S., Melnichuk, E. V., Karpov, V. V., Zhao, D. G., & Dubynin, I. A. (2024). Robot remote control using virtual reality headset: studying sense of agency with subjective distance estimates. *Virtual Reality*, 28(3), 132.

HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Mencionado en 2 artículos - herramientas de diseño y modelado

Ejemplos representativos:

- Song, Z., & Evans, L. (2024). The museum of digital things: extended reality and museum practices. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1396280.

PLATAFORMAS DE FORMACIÓN

Mencionado en 2 artículos - sistemas de formación y educación

Ejemplos representativos::

- Ismael, M., McCall, R., McGee, F., Belkacem, I., Stefas, M., Baixauli, J., & Arl, D. (2024). Acceptance of augmented reality for laboratory safety training: methodology and an evaluation study. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1322543.

SISTEMAS DE MONITOREO

Mencionado en 2 artículos - sistemas de seguimiento y control

Ejemplos representativos:

- Michiels, N., Jorissen, L., Put, J., Liesenborgs, J., Vandebroeck, I., Joris, E., & Van Reeth, F. (2024). Tracking and co-location of global point clouds for large-area indoor environments. *Virtual Reality*, 28(2), 106.

HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN

Mencionado en 1 artículo - sistemas de comunicación

Ejemplo representativo:

- Ban, Y., Inazawa, M., Kato, C., & Warisawa, S. I. (2024). VR communication simulation with scripted dialog elicits HPA axis stress. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 1302720.

SISTEMAS DE RETROALIMENTACIÓN

Mencionado en 1 artículo - sistemas de retroalimentación y respuesta

Ejemplo representativo:

- Joolee, J. B., Hashem, M. S., Hassan, W., & Jeon, S. (2024). Deep encoder–decoder network based data-driven method for impact feedback rendering on head during earthquake. *Virtual Reality*, 28(1), 23.

DISPOSITIVOS HÁPTICOS

Mencionado en 1 artículo - sistemas de retroalimentación háptica

Ejemplo representativo:

- Palombo, R., Weber, S., Wyszynski, M., & Niehaves, B. (2024). Glove versus controller: the effect of VR gloves and controllers on presence, embodiment, and cognitive absorption. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1337959.

SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Mencionado en 1 artículo - sistemas de navegación y guiado

Ejemplo representativo:

- Buwaider, A., El-Hajj, V. G., Iop, A., Romero, M., C Jean, W., Edström, E., & Elmi-Terander, A. (2024). Augmented reality navigation in external ventricular drain insertion—a systematic review and meta-analysis. *Virtual Reality*, 28(3), 141.

SISTEMAS DE RENDERIZADO

Mencionado en 1 artículo - sistemas de renderizado gráfico

Ejemplo representativo:

- Kim, H., Kim, Y., Lee, J., & Kim, J. (2024). Stereoscopic objects affect reaching performance in virtual reality environments: Influence of age on motor control. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1475482.

EVOLUCIÓN DEL MERCADO XR EN 2024

Kyle Cassidy

Esta sección del informe destaca algunos de los desarrollos más importantes de la industria tecnológica en 2024. La primera parte está dedicada a una descripción general de las tendencias y desarrollos, incluidas noticias de los principales actores en XR (Meta, Apple, etc.) y la segunda analiza empresas más pequeñas que están dando forma al panorama.

TENDENCIAS CLAVE Y PRINCIPALES ACTORES DE XR

En 2024, se dedicó mucho tiempo y energía a fusionar la RA y la RV, y a buscar un caso práctico para ello. Las gafas de RA fueron una de las tendencias más importantes, con grandes empresas como Meta y otras más pequeñas como Xreal lanzando productos competitivos. Además, la integración continua de la IA en la computación espacial fue, y probablemente seguirá siendo, clave, ya que, entre otras cosas, la IA se utiliza para rellenar los espacios entre los puntos de datos, reduciendo los tiempos de transmisión y el tamaño de los archivos.

GAFAS DE REALIDAD AUMENTADA

Mientras todos esperaban el lanzamiento de las Vision Pro de Apple en 2024, Xreal irrumpió en las noticias en el CES 2024 al anunciar unas gafas de RA significativamente más pequeñas y mucho más económicas que las Vision Pro, que costaban \$3,500. Las gafas de Xreal parecían ser algo realmente usable. Las Air 2 Ultra incluían cámaras que permitían el seguimiento de la posición y muchas otras experiencias de RA verdaderas.

De hecho, en 2024 se lanzó una gran cantidad de gafas AR, incluidas las X2 y Air 3 de RayNeo, y las AdHawk Mindlink Air (comercializado como “un rastreador de actividad física para el cerebro”) y Viture Pro XR. Snapchat también lanzó sus propias gafas de realidad aumentada (RA), las “Snapchat Spectacles” en septiembre de 2024, disponibles para desarrolladores por solo \$100 al mes con una licencia de un año. A diferencia de las Meta Ray Ban, las Spectacles '24 incluyen todo el hardware, lo que significa que no requieren conexión a un teléfono celular. Sin embargo, las Spectacles '24 son gigantescas. Y su batería dura menos de una hora. Incluso Amazon se lanzó al mercado con sus Echo Frames, que en realidad no eran gafas de RA, sino básicamente un micrófono y altavoces Bluetooth de Alexa montados en la montura.

Además, Meta abrió una tienda pop-up de Ray-Ban para probar el concepto de espacio experiencial de retail. Sin embargo, menos de un año después de que Meta lanzara sus Ray Ban Smart Glasses de segunda generación, dos estudiantes de Harvard las hackearon para realizar reconocimiento facial en tiempo real en un [proyecto llamado I- XRAY](#). Lo hicieron dirigiendo la transmisión de video de las gafas a una computadora portátil con PimEyes, que proporcionaba al usuario los nombres e historias personales de los rostros que reconocía. Más tarde, en 2025, supimos a través de un reportaje de investigación de The Information que Meta había planeado inicialmente incorporar reconocimiento facial en sus gafas, pero descartó el plan en medio de preocupaciones sobre la privacidad. Sin embargo, con una regulación más flexible ahora, [Meta ha anunciado oficialmente](#) que planea incorporar reconocimiento facial en sus gafas para 2026.

APPLE

Una de las noticias más importantes sobre XR en 2024 fue el esperado lanzamiento del Vision Pro de Apple. Con un precio de \$3,500, el lanzamiento de este visor de realidad mixta o “computación espacial” (el término preferido por Apple) en febrero de 2024 generó mucha expectativa. Sin embargo, la demanda final del Vision Pro de Apple fue mucho menor de lo previsto, lo que provocó una [reducción de la producción a la mitad](#), a aproximadamente 400,000 unidades. Esto generó especulaciones en la industria sobre que la producción de visores de realidad mixta, lentes pancake y micro OLED tendría un rendimiento inferior en 2024 (estas predicciones se cumplieron en gran medida. Si bien los mercados de micro OLED crecieron, esto se debió principalmente a aplicaciones no relacionadas con visores de realidad mixta).

Además, Apple anunció la creación de un programa de televisión de 10 episodios basado en la clásica novela de ciencia ficción de 1984 de William Gibson, Neuromancer, gran parte de la cual se desarrolla en el ciberespacio (un término que se atribuye a Gibson). Esta novela se reconoce a menudo como una obra literaria clave que ha influido en el desarrollo y diseño de la realidad aumentada (XR). [El propio Gibson vio su primera demostración de RV en](#) 2015 con un modesto Samsung Gear VR y quedó sumamente impresionado, exclamando: “¡Guau, lo lograron!”. El show de Apple podría generar más interés en la XR entre el público que aún no ha adoptado la tecnología.

META

Meta lanzó el Meta Quest 3S, un paso atrás respecto al modelo Meta Quest 3, con menor resolución y lentes de menor calidad. Esto indica que la cuota de mercado es más importante que los avances técnicos (una estrategia que Meta ha seguido desde sus inicios en la realidad virtual). Meta también lanzó una actualización de software que [inutilizó permanentemente algunos visores](#) . Si bien enviaron visores de repuesto, es preocupante que el hardware pueda dañarse debido a una actualización de software.

En 2024, Meta Reality Labs también alcanzó [un récord de ingresos trimestrales, pero también de costos](#) . Durante su presentación de resultados del cuarto trimestre de 2024, Meta reveló que Reality Labs alcanzó un récord de \$1.08 mil millones en ingresos trimestrales y también tuvo su mayor trimestre en términos de costos, con \$6.05 mil millones, lo que resultó en una pérdida trimestral total de \$4.97 mil millones. Esto apenas supera el récord anterior de ingresos de la división, que fue de \$1.07 mil millones en el cuarto trimestre de 2023, y supera significativamente su máximo en costos operativos para ese mismo periodo, con \$5.72 mil millones. A pesar de ser líder en la industria del hardware, el laboratorio de realidad de Meta nunca ha obtenido ganancias. En 2022, [Zuckerberg les dijo a los accionistas que no esperaran ganancias](#) hasta la década de 2030.

Por último, Meta trasladó su "laboratorio de aplicaciones" a la pantalla principal, triplicando la cantidad de aplicaciones disponibles en Quest. Anteriormente, las aplicaciones que Meta no seleccionaba para su tienda se enviaban a un lugar remoto y difícil de encontrar llamado "laboratorio de aplicaciones", donde permanecían ocultas, inexplorables y sin categorías. La integración del laboratorio de aplicaciones en la pantalla principal añadió instantáneamente más de 2000 aplicaciones nuevas a las poco más de 600 que Meta ya había seleccionado para su tienda.

MICROSOFT

Microsoft retiró algunas tentativas y amplió otras. En 2024, anunció la compatibilidad con RV para TEAMS a través de su aplicación MESH. [La aplicación Mesh](#) (que se estrenó en 2021) permite a empresas y usuarios crear sus propios entornos. Mesh se integró directamente en TEAMS, lo que significa que es posible programar y unirse a reuniones de RV directamente desde el calendario personal. También se pueden ver estas reuniones en una pantalla plana.

Al mismo tiempo, Microsoft está eliminando sus gafas de realidad mixta. Microsoft anunció el cierre de las Hololens 2, cuyo soporte técnico finalizará en 2027. Por otra parte, también anunció una inversión de 22 000 millones de dólares en el desarrollo de una plataforma militar llamada Sistema Integrado de Aumento Visual (IVAS). Palmer Lucky, el creador de Oculus, quien desde entonces se ha centrado en equipos militares, [se unió a ella](#).

GOOGLE

[Google lanzó](#) un sistema operativo Android XR muy esperado, compatible con todas las aplicaciones planas de Android existentes. Llamado [Android XR](#) es una versión completa del sistema operativo Android que se ha adaptado para ejecutarse en auriculares XR y es compatible con toda la biblioteca existente de aplicaciones planas de Android. Esto abre la puerta a versiones especializadas de esas aplicaciones, así como a contenido de realidad virtual completamente inmersivo. El entorno de programación de aplicaciones y juegos Unity anunció que será compatible con Android XR desde el primer día. Esto significa que será [fácil portar el contenido existente de Quest para](#) cualquier cosa que ejecute Android XR de Google. Google también declaró que las aplicaciones de Android que actualmente están en Play Store estarán disponibles en los auriculares inmersivos Android XR de forma predeterminada, y los desarrolladores podrán optar por no participar si lo desean. Eso significa que una enorme biblioteca de aplicaciones planas existentes estará disponible en el dispositivo desde un inicio, lo que es excelente para brindar al auricular un nivel básico de productividad.

SAMSUNG

En 2024, Samsung anunció que sus nuevos auriculares, identificados bajo Project Moohan , serían los primeros auriculares MR que se lanzarían con Android XR el próximo año. Se espera que los auriculares puedan traducir texto en tiempo real y ofrecer mapas inmersivos. Además, contarán con lentes que pueden “ver” el entorno y recordar conversaciones pasadas. [El prototipo presentado](#) en diciembre de 2024 parecía un híbrido entre el Meta Quest y el Apple Vision Pro, con lentes pancake delgados.

OTRAS EMPRESAS Y DESARROLLOS NOTABLES

- [Sandbox VR](#), Sandbox VR , la compañía de juegos de realidad virtual (RV) comercial, anunció una gran expansión con casi 300 nuevas ubicaciones para sus experiencias de RV multijugador de cuerpo completo. Sandbox es una atracción de RV basada en la ubicación que ofrece juegos de RV multijugador para grupos que comparten el mismo espacio físico con objetos reales y objetos de RV.
- Hewlett Packard y Google anunciaron sus planes para promocionar su sistema de videoconferencias Proyecto Starline, que utiliza captura multiperspectiva, tecnología de campo de luz y una pantalla gigante para realizar teleconferencias individuales en 3D. Starline utiliza algoritmos de compresión e inteligencia artificial para crear un modelo volumétrico de una persona y así superar la enorme cantidad de datos necesarios para la transmisión en tiempo real de video 3D de alta resolución, todo ello sin necesidad de auriculares ni gafas (en 2025, el Proyecto Starline cambió su nombre a Google Beam).
- Blackmagic anunció una cámara Apple Immersive Video 8K, disponible para pedidos anticipados por \$30,000. Denominada URSA Cine Immersive, está diseñada para grabar material 3D de 180° específicamente en el formato de video inmersivo de Apple. También se anunció que el software de edición de video de Blackmagic, DaVinci Resolve Studio, será compatible con Apple Immersive Video, que utiliza el formato MV-HEVC específico de Apple, audio espacial dedicado y 90 fps.
- Pimax siguió el ejemplo de Bigscreen VR al anunciar un visor plano de alta gama llamado Dream Air, diseñado para uso prolongado en PCVR y con un precio de \$1,900. Bigscreen y Pimax apuestan por experiencias de RV de alta gama y alta resolución conectadas a potentes ordenadores para juegos, un mercado que Meta prácticamente ha abandonado. Para cubrir sus apuestas, el Pimax ofrecería funcionalidad independiente con un disco de ordenador opcional llamado "Cobb", que contaría con un chip Snapdragon XR2 y una batería.
- Sightful anunció y produjo prototipos de una laptop de realidad aumentada (RA), "[Spacetop g1](#)", en mayo de 2024, la cual no incluía pantalla, pero sí unas gafas de RA XREAL. La compañía canceló el producto en octubre antes de que se enviara ningún modelo a los consumidores. Esto ocurrió después de que Microsoft anunciara las PC Copilot Plus, que contarían con unidades de procesamiento neuronal optimizadas para IA, lo que permitiría a las laptops Windows soportar IA de forma nativa con un rendimiento superior al que Spacetop podría esperar con su procesador Snapdragon de menor potencia.
- Varjo lanzó un [servicio de aplicación de teletransporte](#) para escanear fácilmente lugares y traerlos a la realidad virtual para crear gemelos virtuales usando representaciones gaussianas. Con un precio de suscripción de \$30 al mes, crear un gemelo digital con representaciones gaussianas toma entre 5 y 10 minutos. La suscripción incluye el procesamiento en la nube y la renderización en tu dispositivo.
- Ford publicó un [video](#) que muestra cómo se diseñó la Ranger 2024 con un visor de realidad mixta que ayuda a acelerar el proceso de diseño y reducir los cambios. Ford utiliza el visor XR de Varjo, que también utiliza la empresa estadounidense de coches eléctricos Rivian. Rivian afirma haber [ahorrado un millón de dólares](#) por programa de vehículos y, como resultado, puede fabricarlos entre dos y tres veces más rápido.
- El viñeteo (reducción del brillo o la saturación de una imagen en los bordes en comparación con el centro) sigue siendo un obstáculo en el camino hacia la presencia de la realidad virtual. Si bien Meta ha abandonado la búsqueda de hardware con campo de visión (FOV) ultra amplio por considerarlo poco rentable, existen otras empresas dedicadas a estos desarrollos. Por ejemplo, Pimax y Sominum Space lanzaron gafas de este tipo: la Sominum VR1, cuyos pedidos comenzaron en junio de 2024, presenta un campo de visión horizontal de 130°, y la Pimax Super Crystal, anunciada en abril de 2024, tiene un campo de visión horizontal de entre 127° y 138° (compárese con el campo de visión de 110° de la Meta Quest 3).

VISIONES DE LOS GRADUADOS SOBRE LA REALIDAD EXTENDIDA: UN ANÁLISIS TEMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN ACADÉMICA EN 2024

Feng Yi Chew

INTRODUCCIÓN

El campo de la realidad extendida (XR), que abarca la realidad virtual, aumentada y mixta, continúa evolucionando rápidamente en contextos tecnológicos, pedagógicos, clínicos, artísticos e industriales. Paralelamente a los avances en hardware, software y diseño de interfaces inmersivas, la investigación académica ha ampliado sus esfuerzos para comprender, evaluar y visualizar el papel de la XR en la configuración de la experiencia humana, la interacción y la creación de conocimiento.

Las tesis doctorales ofrecen una perspectiva única sobre este panorama en evolución, revelando cómo los investigadores emergentes posicionan la XR dentro de marcos teóricos, agendas disciplinarias e imaginarios sociotécnicos más amplios. Esta sección presenta una síntesis temática de las visiones de los graduados sobre la XR, capturando cómo la próxima generación de investigadores está conceptualizando su potencial y abordando sus desafíos. Hasta donde sabemos, esta es la primera vez que se realiza un análisis de este tipo.

METODOLOGÍA

El análisis se basa en una muestra de **171 tesis doctorales** publicadas en 2024, centradas en tecnologías de XR. La muestra se construyó mediante una búsqueda sistemática en la base de datos **ProQuest Dissertations and Theses Global**, utilizando las palabras clave «realidad extendida», «realidad aumentada» y «realidad virtual», con filtros para:

- **Tipo de manuscrito:** Tesis doctorales
- **Idioma:** Inglés
- **Fechas de publicación:** 1 de enero de 2024 – 31 de diciembre de 2024

Cada tesis fue codificada y analizada bajo tres dimensiones:

- **Tema disciplinario:** El campo o dominio en el que se sitúa el trabajo (por ejemplo, educación, medicina, informática).
- **Marco teórico:** la lente conceptual que guía la investigación (por ejemplo, teoría de la presencia, teoría de la carga cognitiva).
- **Temas centrales de XR:** las principales preocupaciones temáticas que impulsan la investigación (por ejemplo, inmersión y presencia, experiencia del usuario).

Si bien algunas tesis abarcaron áreas transversales, cada una se categorizó según el tema considerado más apropiado según su enfoque principal. Este esquema de codificación tripartito nos permite rastrear no solo dónde se desarrolla la investigación en XR, sino también cómo se enmarca y con qué fines.

CLASIFICACIÓN POR TEMA DISCIPLINARIO

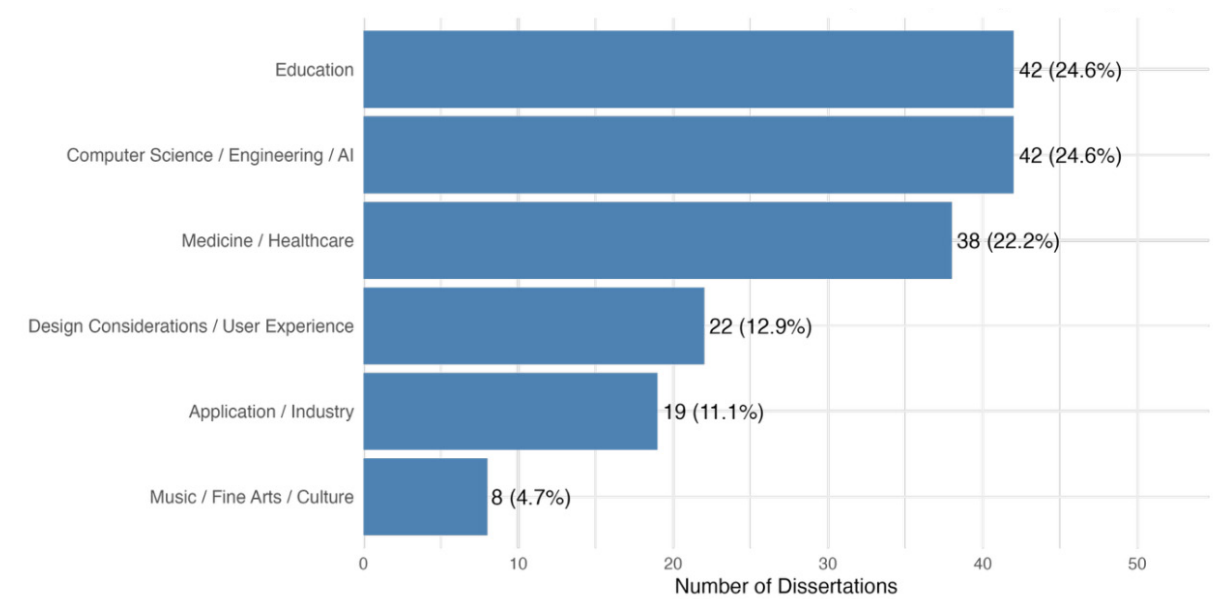
Para comprender mejor la atención académica en el campo de la XR, cada una de las 171 tesis se clasificó en uno de seis temas disciplinarios. Estas categorías se desarrollaron de forma inductiva mediante una revisión iterativa de los resúmenes de las tesis, lo que nos permitió abarcar los dominios más destacados de la investigación en XR, manteniendo la claridad y la comparabilidad entre estudios. Reflejan el dominio principal de la investigación, expresado a través de las preguntas centrales, la metodología y la afiliación institucional de la tesis.

Si bien algunas tesis abarcaron múltiples dominios o adoptaron enfoques interdisciplinarios, cada una se asignó a un solo tema según nuestro criterio sobre su enfoque predominante. Esta clasificación ofrece una visión general de dónde está surgiendo la investigación en XR y cómo las normas disciplinarias influyen en su aplicación y exploración.

Las categorías son las siguientes:

- **Educación:** Investigación centrada en la XR como herramienta de enseñanza o aprendizaje en contextos de educación primaria y secundaria, educación superior, formación profesional o desarrollo profesional.
- **Ciencias de la Computación / Ingeniería / Inteligencia Artificial (IA):** Trabajo basado en el desarrollo de tecnologías XR, incluida la ingeniería de software, el diseño de algoritmos, la visión por computadora y las interfaces impulsadas por IA.
- **Medicina / Atención médica:** tesis que investigan la XR en la capacitación clínica, intervenciones terapéuticas, atención al paciente o cambio de comportamiento de salud.
- **Consideraciones de diseño / Experiencia del usuario:** Investigación centrada en el diseño de interacción, usabilidad, accesibilidad y respuesta afectiva en entornos XR.
- **Aplicación / Industria:** Tesis orientadas a la práctica que aplican XR a sectores como la construcción, el ejército, el comercio minorista, el turismo o el desarrollo de la fuerza laboral.
- **Música / Bellas Artes / Cultura:** Usos creativos e interpretativos de XR para la expresión artística, el patrimonio cultural o las humanidades digitales.

Figura 1: Número de tesis por tema disciplinario



La relevancia de la Educación y la Medicina/Salud se alinea con las prioridades de investigación y financiación establecidas, ya que la XR continúa explorándose por su potencial educativo y clínico. El sólido desempeño en disciplinas técnicas refleja la maduración de la XR como campo dentro de la interacción persona-computadora y la IA. Mientras tanto, la relativa escasez de tesis doctorales en artes, experiencia de usuario e industria sugiere la aparición de nuevas fronteras; dominios que podrían cobrar relevancia a medida que la XR se expande más allá de los laboratorios experimentales hacia contextos cotidianos y aumenta la demanda de un diseño centrado en el ser humano y con base ética.

Los tres grupos disciplinarios dominantes —Educación, Medicina/Salud y Ciencias de la Computación/Ingeniería/IA— representaron en conjunto más del 70 % de las tesis doctorales relacionadas con XR en 2024. Esta distribución refleja el énfasis del campo en la innovación pedagógica, la utilidad clínica y el desarrollo técnico. Música/Bellas Artes/Cultura sigue siendo un nicho (4,7 %), mientras que Consideraciones de Diseño/Experiencia de Usuario y Aplicaciones/Industria están subrepresentadas a pesar de su relevancia en el mundo real.

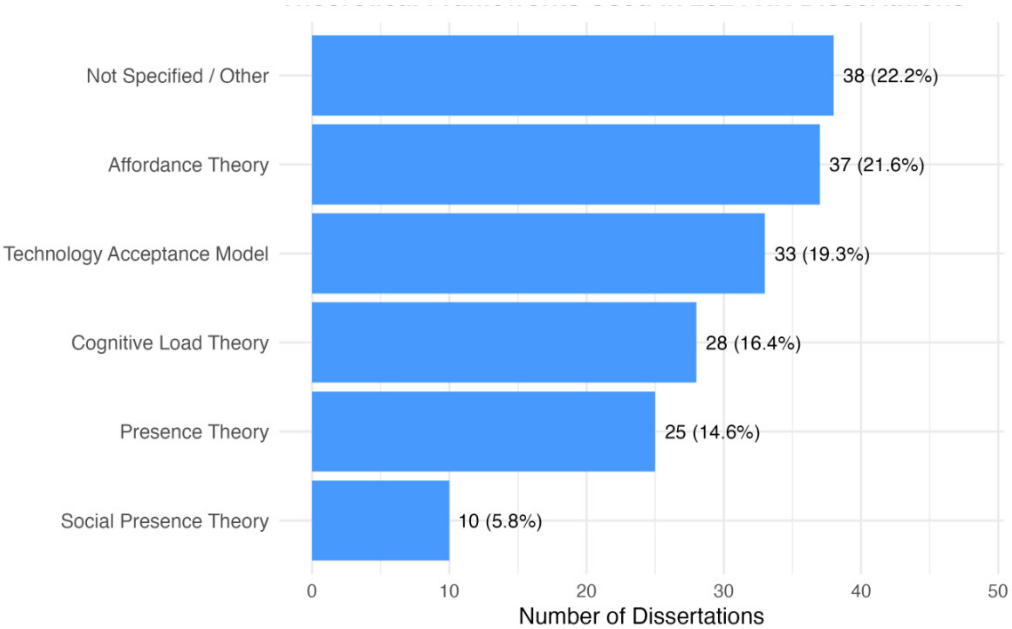
En contraste, el enfoque disciplinario de las publicaciones en revistas sobre XR revisadas por pares en 2024 estuvo dominado por Ciencias de la Computación (23,4%), Ingeniería (16,5%) y Medicina (12,6%). Cabe destacar que Educación no se ubicó como una categoría diferenciada entre las publicaciones en revistas. Si bien esto puede deberse a diferencias metodológicas en la indexación de los artículos con revisión por pares en Scopus, también podría servir para destacar cómo las tesis doctorales pueden destacar la innovación pedagógica y los contextos aplicados de forma diferente a las publicaciones convencionales en XR.

CLASIFICACIÓN POR MARCO TEÓRICO

Para arrojar luz sobre los fundamentos conceptuales que guían la investigación doctoral relacionada con la XR en 2024, cada tesis doctoral fue codificada en función de su uso de uno o más de los cinco marcos teóricos empleados habitualmente en la literatura sobre XR. Estos marcos fueron seleccionados basándose en su frecuente aparición en la investigación sobre medios inmersivos y en su relevancia para la experiencia de usuario, el diseño y la adopción:

- **Teoría de la viabilidad:** se ocupa de cómo los usuarios perciben y actúan sobre las posibilidades funcionales de las interfaces o entornos XR (Gibson, 1979).
- **Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM):** Investiga factores como la facilidad de uso percibida y la utilidad percibida que impulsan la adopción de tecnología (Davis, 1986).
- **Teoría de la carga cognitiva:** se centra en el esfuerzo mental necesario para procesar información en contextos inmersivos o multimedia (Sweller , 2011).
- **Teoría de la presencia:** aborda cómo los usuarios experimentan psicológicamente la inmersión, el realismo y el “estar allí” en entornos XR (Lee, 2004).
- **Teoría de la presencia social:** explora la sensación de presencia e interacción de los demás en entornos virtuales, particularmente en la XR educativa y colaborativa (Short, Williams y Christie, 1976).

Figura 2: Frecuencia de los marcos teóricos utilizados en las tesis sobre XR en 2024



Nota: Muchas tesis emplearon múltiples marcos u operaron sin una base teórica claramente establecida.

Los marcos más utilizados fueron la Teoría de la Viabilidad (21,6%) y el Modelo de Aceptación de Tecnología (19,3%), lo que refleja un fuerte enfoque práctico en la interacción y la adopción del usuario. La Teoría de la Carga Cognitiva (16,4%) apareció con frecuencia en tesis doctorales sobre educación y salud, donde la gestión del esfuerzo mental es crucial. La Teoría de la Presencia, a pesar de su importancia histórica, se citó solo en el 14,6% de las tesis, lo que sugiere una transición de la experiencia inmersiva a las preocupaciones aplicadas. La Teoría de la Presencia Social fue la menos representada (5,8%), principalmente en trabajos que involucran XR colaborativa o comunicativa.

Esta distribución subraya un giro más amplio hacia la investigación aplicada, priorizando la usabilidad, el aprendizaje y la adopción por encima de las cuestiones fundamentales de la inmersión. Sin embargo, el uso limitado de la Teoría de la Presencia Social y el considerable

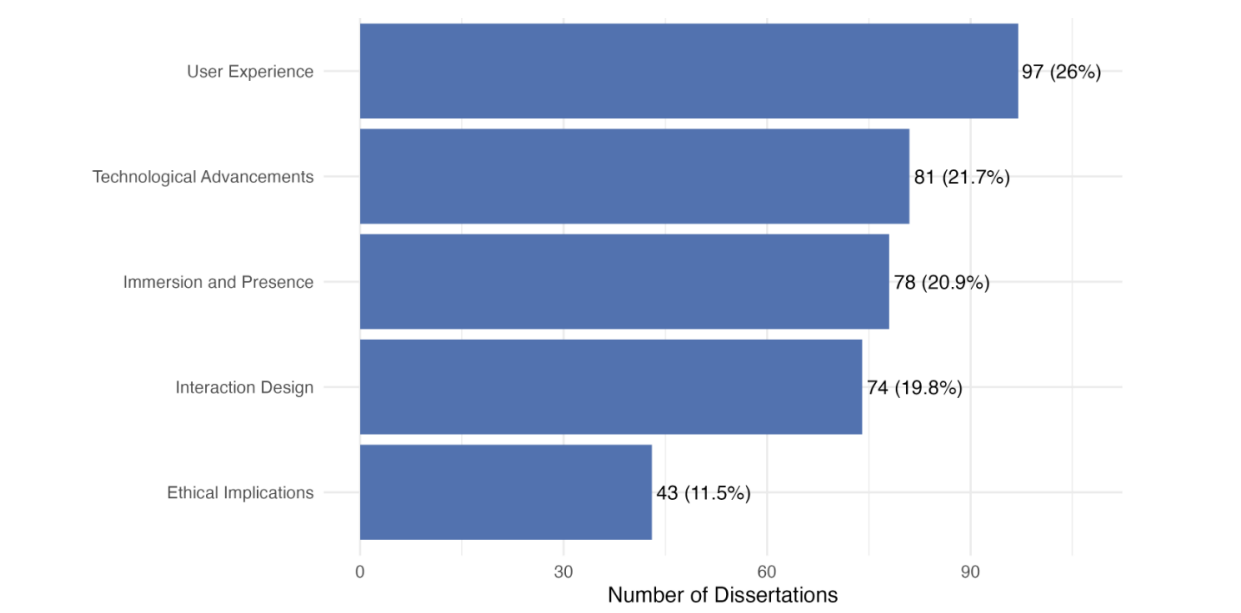
CLASIFICACIÓN POR TEMAS PRINCIPALES DE XR

número de tesis sin una base teórica explícita (22,2 %) revelan oportunidades para una mayor integración conceptual, especialmente a medida que la XR facilita cada vez más la interacción remota y la presencia social.

Para captar las prioridades recurrentes y los enfoques conceptuales de la investigación doctoral relacionada con la XR en 2024, se identificaron cinco temas centrales que se repitieron de forma consistente en las tesis. Estos temas se seleccionaron mediante una revisión iterativa de los resúmenes de las tesis, las palabras clave y los memorandos de codificación, con base en su importancia para la investigación en XR y su relevancia tanto para el desarrollo técnico como para la evaluación centrada en el usuario. Dado que muchas tesis abordaron múltiples temas, se permitió que cada una reflejara más de un tema central. Las categorías resultantes reflejan preocupaciones de diseño comunes, preguntas teóricas y consideraciones sociotécnicas que dan forma a cómo se conceptualiza e implementa la XR en contextos académicos:

- **Experiencia de Usuario:** abarca la investigación que prioriza la usabilidad, la accesibilidad, la satisfacción y la interacción afectiva en entornos XR. Este tema engloba los esfuerzos para que los sistemas XR sean más intuitivos, inclusivos y agradables.
- **Avances tecnológicos:** refleja el trabajo que contribuye a nuevos métodos, sistemas o herramientas en XR, incluido el desarrollo de hardware, sistemas de seguimiento, nuevos algoritmos o marcos de software.
- **Inmersión y presencia:** incluye estudios centrados en la sensación psicológica de "estar allí" en un entorno virtual, a menudo vinculado al realismo sensorial, la encarnación y la fidelidad perceptiva.
- **Diseño de Interacción:** Abarca cómo los usuarios interactúan y manipulan entornos XR mediante gestos, controladores, mirada, voz y otras modalidades de entrada. Este tema incluye el diseño de interfaz y los mecanismos de retroalimentación.
- **Implicaciones éticas:** Representa investigaciones sobre las dimensiones sociales, morales y de accesibilidad de la XR, incluido el sesgo algorítmico, la privacidad de los datos, la autoría y el potencial de exclusión o daño.

Figura 3: Frecuencia de los temas centrales de XR utilizados en las tesis sobre XR en 2024



La experiencia del usuario fue el tema más destacado, presente en más de la mitad de las tesis doctorales, lo que indica un creciente énfasis en el diseño centrado en el usuario, la interacción emocional y la accesibilidad a medida que la XR se generaliza. Los avances tecnológicos (47,4 %) y la inmersión y presencia (45,6 %) también tuvieron una amplia representación, lo que refleja los continuos esfuerzos por mejorar las capacidades técnicas y sensoriales de la XR. El diseño de interacción (43,3 %) se superpuso a menudo con la experiencia del usuario, lo que pone de manifiesto el interés continuo en cómo los usuarios navegan y controlan los entornos de XR. Las implicaciones éticas, si bien se abordaron solo en el 25,1 % de las tesis doctorales, surgieron en trabajos relacionados con el sesgo, la vigilancia y la exclusión de grupos marginados.

Esta distribución refleja dos ejes dominantes en la investigación de XR: uno centrado en el rendimiento técnico y la inmersión, y el otro en las necesidades del usuario y el impacto social. Si bien el diseño centrado en el usuario es el eje central del discurso, la atención

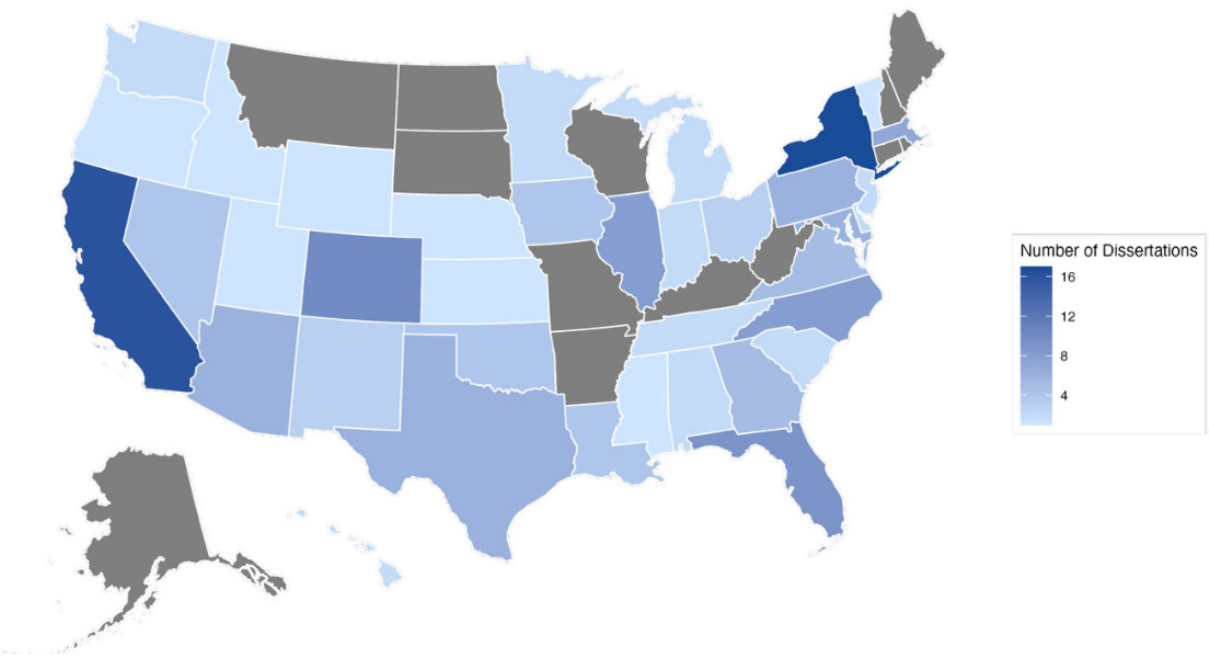
relativamente limitada a la ética subraya la necesidad de enfoques más integrados en materia de equidad, justicia y responsabilidad en el desarrollo de XR, especialmente a medida que estas tecnologías se expanden a entornos de alto riesgo como la educación y la atención médica.

GEOGRAFÍAS DE LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO

Las 171 tesis doctorales relacionadas con la XR publicadas en 2024 reflejan un panorama de actividad académica predominantemente centrado en Estados Unidos. Aproximadamente el 90 % de estas tesis doctorales provinieron de instituciones estadounidenses, con una concentración especialmente alta en estados como Nueva York (17 tesis doctorales), California (16), Florida (9), Illinois (8), Carolina del Norte (8), Massachusetts (7), Texas (6), Maryland (6), Pensilvania (6) y Arizona (6). Estos estados albergan importantes universidades de investigación con programas consolidados en educación, ingeniería, estudios de medios de comunicación y ciencias de la salud, campos que frecuentemente se intersecan con la investigación en XR.

Esta distribución sugiere que la investigación académica sobre XR en los EE.UU. se concentra en centros académicos urbanos a lo largo de las costas y en determinados estados del interior, lo que refleja tendencias más amplias en el financiamiento de la investigación, la capacidad institucional y la especialización regional.

Figura 4: Distribución de tesis doctorales sobre XR en Estados Unidos



Fuera de los EE.UU., las contribuciones internacionales fueron modestas pero geográficamente diversas, con disertaciones que surgieron de instituciones en Canadá (Quebec y Ontario), Alemania, Inglaterra, Turquía, Qatar y Hong Kong. En particular, Canadá produjo la mayor cantidad de disertaciones internacionales (5 en total), lo que indica una creciente capacidad de investigación en XR dentro de las instituciones norteamericanas más allá de los EE.UU. Vale la pena señalar que los parámetros de búsqueda se limitaron a disertaciones en idioma inglés, lo que probablemente subrepresenta la producción académica sobre XR de regiones e instituciones que no hablan inglés. Esta restricción metodológica puede explicar parcialmente el predominio de la producción de investigación de los países de habla inglesa, en particular los Estados Unidos, Canadá y el Reino Unido [1].

Figura 5: Distribución global de tesis doctorales sobre XR



METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN

La geografía de la producción de conocimiento sobre XR revela un patrón familiar: la producción científica está altamente concentrada en países con ecosistemas de investigación bien financiados, en particular Estados Unidos. Si bien esta centralización facilita la innovación mediante la infraestructura institucional y la colaboración interdisciplinaria, también corre el riesgo de reforzar las desigualdades geográficas en cuanto a quién define los términos, la ética y las aplicaciones de las tecnologías inmersivas. A medida que la XR se convierte cada vez más en un medio global, existe una necesidad apremiante de apoyar una investigación más inclusiva y transnacional que refleje una gama más amplia de contextos culturales, necesidades de los usuarios y prioridades de diseño.

Las tesis doctorales relacionadas con la XR en 2024 emplearon diversos enfoques metodológicos, lo que refleja la naturaleza interdisciplinaria del campo y la naturaleza multifacética de las tecnologías inmersivas. Los investigadores seleccionaron métodos alineados con sus normas disciplinarias y las preguntas de investigación específicas que perseguían, combinando a menudo técnicas tradicionales de las ciencias sociales con evaluaciones basadas en el diseño y centradas en el usuario.

- **Métodos cuantitativos:** Muchos estudios emplearon enfoques cuantitativos, como encuestas, experimentos e instrumentos psicométricos para recopilar datos numéricos. Estos métodos se aplicaron comúnmente para evaluar variables como la experiencia del usuario, los resultados de aprendizaje y la aceptación de la tecnología. Los análisis estadísticos, como la regresión, el ANOVA y el modelado de ecuaciones estructurales se emplearon con frecuencia para comprobar hipótesis y modelar relaciones.
- **Métodos cualitativos:** Se emplearon enfoques cualitativos, como entrevistas, grupos focales, etnografías y estudios de caso para obtener información contextual valiosa sobre las percepciones, motivaciones y experiencias vividas de los usuarios. Estos métodos fueron especialmente destacados en tesis doctorales que exploraban narrativas culturales, implicaciones éticas y prácticas de diseño en XR.
- **Métodos Mixtos:** Un subconjunto notable de tesis doctorales adoptó diseños de métodos mixtos, integrando técnicas cualitativas y cuantitativas. Este enfoque permitió a los investigadores triangular hallazgos, validar resultados en distintas fuentes de datos y desarrollar una comprensión más matizada del fenómeno de la XR.
- **Estudios de Usuarios y Análisis de Interacciones:** Los estudios de usuario fueron un sello distintivo de la investigación en XR, y a menudo incluían pruebas de usabilidad, evaluaciones basadas en tareas y la observación de interacciones en tiempo real en entornos inmersivos. Estos estudios proporcionaron información directa sobre la funcionalidad del diseño, la eficacia de la interfaz y los patrones de comportamiento del usuario.
- **Técnicas de Análisis de Datos:** La elección de los métodos de análisis de datos varió según el estudio. Los estudios cuantitativos generalmente emplearon estadística inferencial, mientras que los cualitativos emplearon análisis temático, de contenido o del discurso. El análisis comparativo también fue común, especialmente en estudios que evaluaron diferentes herramientas de XR, grupos de usuarios o contextos de aplicación.

La diversidad metodológica en las tesis doctorales sobre XR demuestra una creciente madurez en el campo, donde el rigor empírico se combina con la apertura exploratoria. A medida que las tecnologías de XR continúan evolucionando, el pluralismo metodológico seguirá siendo esencial para capturar tanto los impactos medibles como las dimensiones subjetivas de las experiencias inmersivas.

TENDENCIAS TEMPORALES EN LA PRODUCCIÓN DE TESIS DE XR

La producción de tesis doctorales relacionadas con la XR en 2024 parece reflejar la continuación y posible aceleración de tendencias más amplias en la investigación sobre tecnologías inmersivas. Si bien esta síntesis se centra en un solo año de publicación, los metadatos de documentos internos y los resúmenes de tesis a menudo hacen referencia a la actividad de investigación que comenzó en 2020, lo que sugiere que muchos de estos proyectos se vieron influenciados por la rápida expansión de la XR durante la pandemia de COVID-19. Este período vio un auge en las herramientas de aprendizaje remoto, las simulaciones virtuales en el ámbito sanitario y una mayor inversión en infraestructura digital, todo lo cual sentó las bases para la experimentación con XR.

Aunque los datos de un solo año no pueden confirmar una tendencia sostenida, el volumen y la diversidad disciplinaria de las tesis doctorales de 2024 indican que la investigación en XR está madurando. La integración constante de la XR en diferentes sectores, especialmente en educación, medicina y diseño, sugiere una normalización de las tecnologías inmersivas como áreas viables de investigación y aplicación. Las futuras revisiones que comparen la producción de tesis doctorales de varios años serán esenciales para determinar si 2024 marca un punto culminante o un nuevo punto de referencia para la investigación en XR.

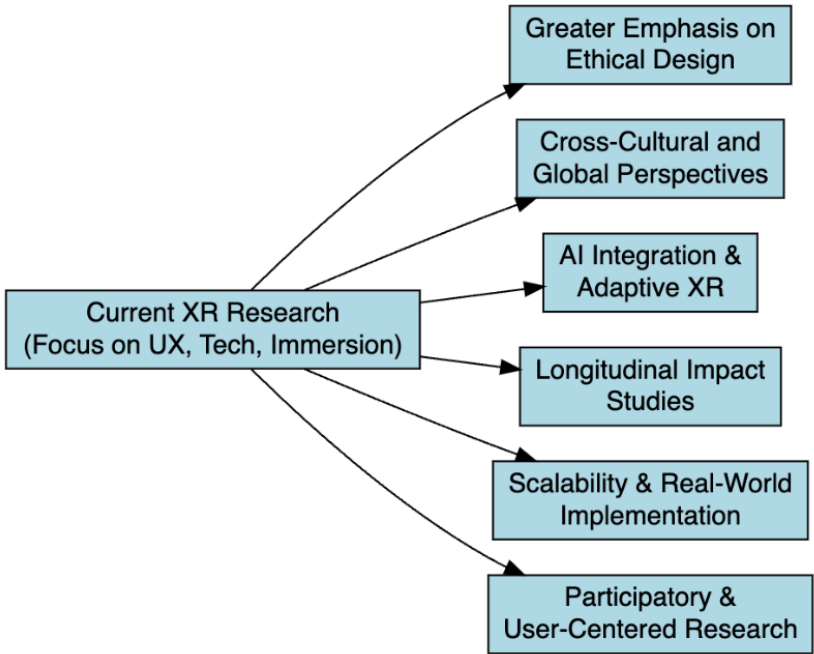
PERSPECTIVAS Y DIRECCIONES FUTURAS

El panorama de las tesis doctorales relacionadas con la XR en 2024 refleja un campo en rápida evolución que se encuentra simultáneamente en maduración y expansión. El conjunto actual de investigaciones destaca bases sólidas en diseño centrado en el usuario, desarrollo tecnológico y casos de uso aplicados en educación, salud e industria. Sin embargo, también señala oportunidades emergentes (y obligaciones) para que los académicos examinen críticamente las dimensiones sociales, éticas y culturales más amplias de la XR. Si bien muchas disertaciones reflejaron trayectorias consolidadas en educación, medicina e ingeniería, varias ampliaron los límites de la investigación en XR al integrar perspectivas interdisciplinarias, como la neuroestética, el patrimonio cultural y la justicia social, lo que indica un cambio gradual hacia aplicaciones más críticas, afectivas y contextualizadas de la tecnología inmersiva. A medida que avanza la producción académica sobre XR, varias direcciones clave están preparadas para dar forma a su próxima fase de desarrollo:

- **Hacia una XR ética e inclusiva:** Si bien algunas tesis doctorales abordaron cuestiones éticas, este tema sigue estando poco representado en comparación con temas técnicos y experienciales. Los estudios futuros deben profundizar en cuestiones de sesgo, accesibilidad, vigilancia, privacidad de datos y distribución equitativa de los recursos de XR, especialmente a medida que estas tecnologías se expanden a entornos cotidianos.
- **Globalización de la investigación en XR:** La concentración geográfica de las tesis doctorales en XR en Estados Unidos revela una distribución desigual de la capacidad investigadora. Ampliar la participación global requerirá apoyo estructural para investigadores en regiones subrepresentadas, así como una transición hacia metodologías interculturales que reflejen las diversas necesidades de los usuarios y los contextos sociotécnicos.
- **Integración con IA y ciencia de datos:** La convergencia de la XR con la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el análisis en tiempo real ofrece un terreno fértil para futuras investigaciones. Las tesis doctorales podrían explorar cada vez más sistemas de XR adaptativos, entornos de aprendizaje personalizados y modelos predictivos del comportamiento del usuario que responden dinámicamente al contexto.
- **Estudios longitudinales y del mundo real:** Gran parte de la investigación actual se centra en intervenciones a corto plazo o de laboratorio. Los trabajos futuros se beneficiarán de diseños longitudinales y aplicaciones reales que examinen el compromiso sostenido, los resultados conductuales y la integración organizacional a lo largo del tiempo.

- **Ampliación de horizontes disciplinarios:** Si bien la mayoría de las tesis doctorales sobre XR se centran en la educación, la ingeniería y la salud, es probable que el trabajo futuro prolifere en las artes, las humanidades, los estudios ambientales y las políticas públicas. Estas expansiones aportarán nuevos marcos teóricos y perspectivas críticas para el desarrollo y la implementación de XR.

Figura 6: Prioridades emergentes y áreas de enfoque futuras en la investigación sobre XR



CONCLUSIÓN

En las tesis revisadas, las tecnologías XR se trataron predominantemente como herramientas establecidas en lugar de variables experimentales. En la mayoría de los casos, las metodologías se diseñaron para evaluar cómo la XR podría mejorar el rendimiento, el aprendizaje, la participación o la usabilidad dentro de contextos específicos, como aulas, simulaciones médicas o entornos colaborativos. Este marco orientado a la optimización refleja una tendencia más amplia en el campo: la utilidad de XR a menudo se asumía en lugar de cuestionarse. Menos estudios evaluaron críticamente si XR era el medio más apropiado para un problema determinado, o exploraron sus limitaciones, implicaciones socioculturales o desafíos de accesibilidad. Como resultado, los enfoques metodológicos tendieron a centrarse en medir los resultados del usuario dentro de condiciones mejoradas por la XR en lugar de cuestionar el papel de la XR en sí mismo. Esta orientación subraya la necesidad de que futuras investigaciones consideren más ampliamente la idoneidad de XR, las implicancias éticas y el ajuste contextual en diversos entornos.

De cara al futuro, la investigación en XR se encuentra en un momento crucial. A medida que las tecnologías inmersivas se integran cada vez más en la vida social, la comunidad investigadora tiene la oportunidad y la responsabilidad de moldear su trayectoria con rigor, creatividad y cuidado. Las futuras tesis doctorales no solo perfeccionarán las herramientas de XR, sino que también analizarán sus implicaciones, garantizando que la innovación se desarrolle con reflexividad, inclusión y valor público.

Esta síntesis de 171 tesis doctorales relacionadas con la XR de 2024 ofrece una perspectiva única sobre la evolución del campo en distintas disciplinas, teorías y contextos globales. Si bien los artículos revisados por pares y los libros blancos de la industria suelen captar innovaciones destacadas, las tesis reflejan un espectro de investigación más amplio, abordando con frecuencia temas poco explorados, aplicaciones emergentes y desafíos específicos del contexto.

Al analizar las tesis doctorales, comprendemos cómo los investigadores jóvenes están configurando el futuro de la XR, no solo mediante el desarrollo técnico, sino también mediante marcos pedagógicos, éticos y culturales. Estos trabajos ofrecen pistas sobre el destino de las inversiones institucionales, los paradigmas teóricos que se enseñan y aplican, y cómo se concibe la XR en ámbitos tan diversos como la medicina, la educación, las artes y la interacción persona-computadora.

La diversidad de métodos y puntos de acceso disciplinarios revela la naturaleza inherentemente interdisciplinaria de la XR. Sin embargo, las brechas persistentes, como la escasa representación de marcos éticos o perspectivas globales, nos recuerdan que el desarrollo de tecnologías inmersivas no es solo una tarea técnica, sino sociotécnica.

En este sentido, las disertaciones no son meros ejercicios académicos; son indicadores de la posible evolución de la realidad extendida (RX) y de las áreas donde aún se requieren intervenciones cruciales. A medida que el campo madura, la atención continua a la investigación de posgrado seguirá siendo vital para cultivar sistemas de realidad extendida inclusivos, impactantes y con visión de futuro.

REFERENCIAS

Davis, F. D. (1986). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results (Doctoral dissertation). Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.

Gibson, J. J. (1979). The ecological approach to visual perception: Classic edition. Houghton Mifflin.

Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27–50. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2004.tb00302.x>

Short, J., Williams, E., & Christie, B. (1976). The social psychology of telecommunications. John Wiley & Sons.

Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (pp. 37–76). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>.

1. La estrategia de búsqueda se centró exclusivamente en palabras clave en inglés, como «realidad extendida», «realidad virtual» y «realidad aumentada». Si bien estos términos se utilizan ampliamente en la investigación internacional, es posible que no abarquen toda la gama de investigaciones relacionadas con la realidad extendida (XR) realizadas en contextos no angloparlantes. Por ejemplo, las tesis doctorales escritas en otros idiomas pueden basarse en terminología específica de la región (p. ej., «informática» gráfico " en francés, " computación inmersiva " en español, o etiquetas específicas de dominio como "interacción humano-computadora" o "visualización 3D") que no se traducen directamente a "XR" ni se indexan en este contexto. Por lo tanto, nuestro conjunto de datos podría subrepresentar trabajos internacionales que utilizan marcos conceptuales o vocabularios disciplinarios alternativos.