

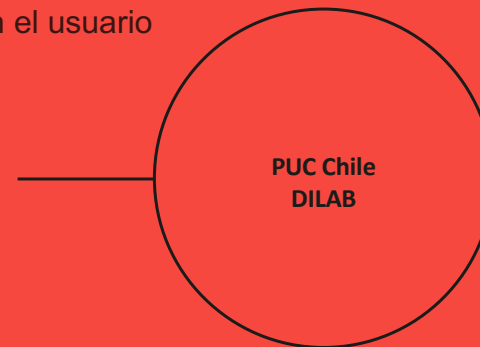


UC | Chile



Del dato al metaverso

Diseñando experiencias inmersivas seguras y centradas en el usuario



Leonel Merino, Ph.D.

Profesor Asistente

Escuela de Diseño
Escuela de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica de Chile



dilab.ing.uc.cl

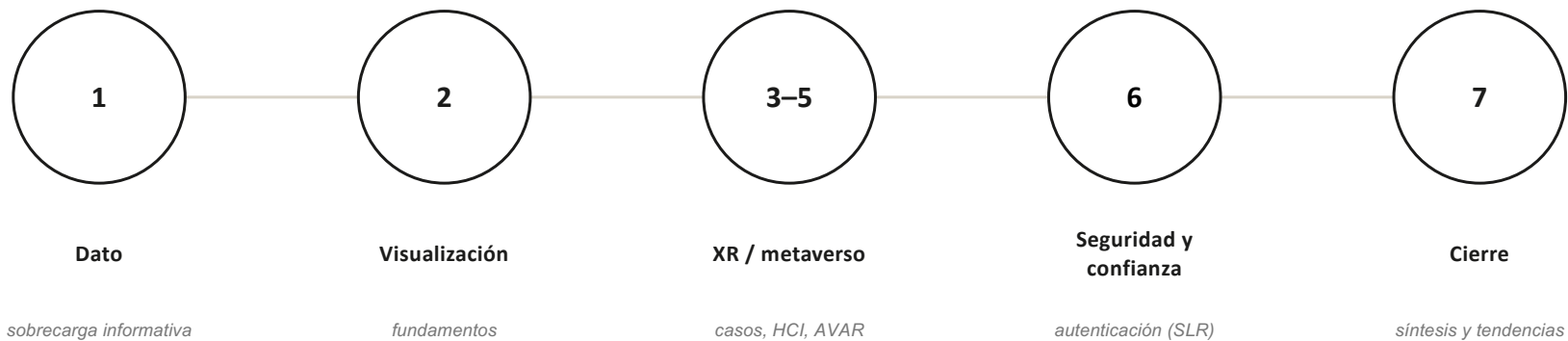
Agosto – Septiembre 2026



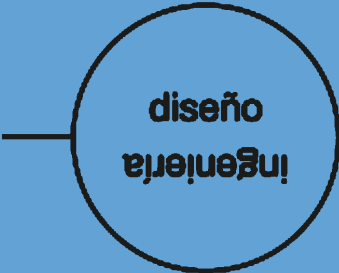


Agenda — mapa de la charla

Cinco etapas: del dato en bruto a una experiencia inmersiva segura — y de vuelta a las tendencias que vienen.



El mundo está inundado en datos



diseño
ingeniería



De registrar a interpretar

Durante décadas la tecnología se centró en registrar datos a mayor escala y velocidad. El cuello de botella ya no es capturar información, sino interpretarla a tiempo para decidir.

SIGLO XIX-XX

¿Cómo registrar más información?

El reto era capturar y almacenar datos: inventar soportes, formatos y sistemas para no perder información.



SIGLO XXI

¿Cómo procesar toda esta información?

El reto ya no es registrar, sino dar sentido a un volumen que crece más rápido que nuestra capacidad de leerlo: aquí es donde entra la visualización.

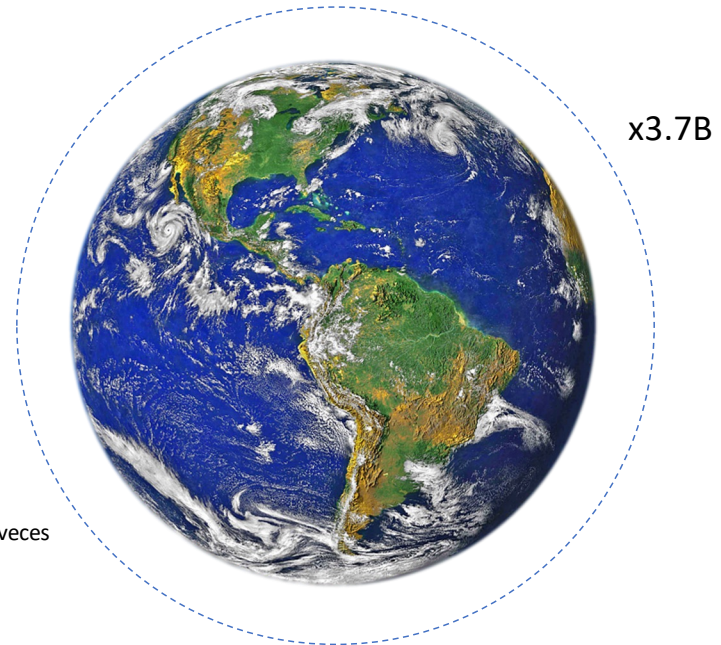


La escala del problema

Hoy se generan volúmenes de datos medidos en zettabytes, camino a los yottabytes — cifras tan grandes que dejan de ser intuitivas para la mente humana.

Para el 2050:

1 Yottabyte = 1,000,000,000,000 Terabytes (2.1 billones de años descargando a 120 Mbps)

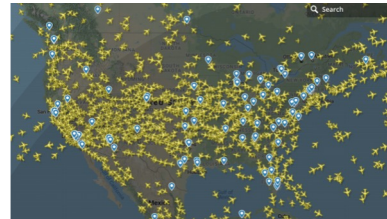


Si imprimieramos esa información, podríamos rodear la tierra 3.7 billones de veces



¿De dónde vienen los datos?

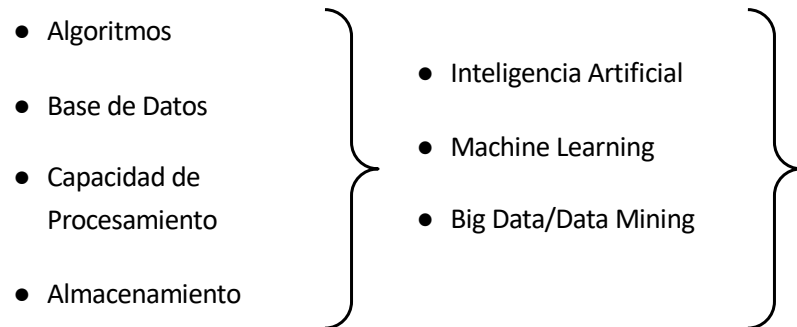
Sensores IoT, redes sociales, dispositivos móviles, transacciones y sistemas científicos generan datos de forma continua, desde fuentes cada vez más heterogéneas y distribuidas.





Del dato al algoritmo

La inteligencia artificial, el machine learning y el Big Data prometen convertir ese volumen en decisiones automáticas — pero heredan los sesgos y los límites de los datos con que se entrenan.





Cuando los modelos fallan

Dos ejemplos ilustran el límite de confiar ciegamente en el algoritmo: la clasificación errónea “chihuahua vs. muffin”, y accidentes reales de Tesla Autopilot por mala interpretación del entorno.



<https://www.freecodecamp.org/news/chihuahua-or-muffin-my-search-for-the-best-computer-vision-api-cbda4d6b425d/>

TECHNOLOGY

Teslas running Autopilot involved in 273 crashes reported since last year

Regulators released the first batch of data since mandating that companies such as Tesla report on serious crashes involving their driver-assistance systems

By Faiz Siddiqui, Rachel Lerman and Jeremy B. Merrill

Updated June 15, 2022 at 4:50 p.m. EDT | Published June 15, 2022 at 9:08 a.m. EDT



The numbers, which were published by NHTSA for the first time Wednesday, show that Tesla vehicles made up nearly 70 percent of the 392 crashes involving advanced driver-assistance systems reported since last July. (Patrick T. Fallon/AFP/Getty Images)

MOST READ TECHNOLOGY >



1 A new era of industrial policy kicks off with signing of the Chips Act

2 The Google engineer who thinks the company's AI has come to life

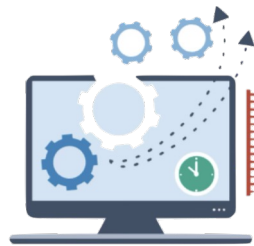
3 The trans Twitch star delivering news to a legion of LGBTQ teens

<https://www.washingtonpost.com/technology/2022/06/15/tesla-autopilot-crashes/>



Modelos + visualización

La visualización de datos no reemplaza al modelo algorítmico: lo complementa, apoyándose en la percepción humana para detectar patrones, errores y matices que el algoritmo pasa por alto.



Modelos, inteligencia artificial



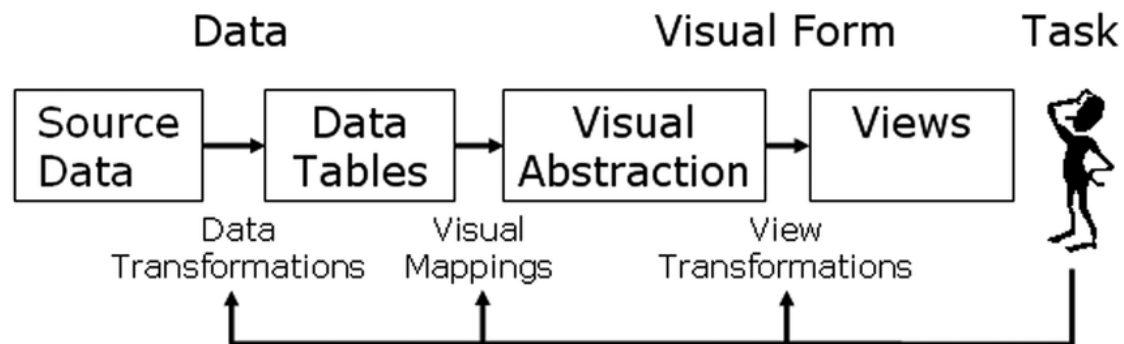
Visualización, percepción humana

Proceso de visualización



El Modelo de Referencia de Visualización

El modelo de Card, Mackinlay y Shneiderman describe la visualización como una tubería: datos brutos → transformación de datos → estructuras visuales → vistas, con el usuario interactuando en cada etapa.

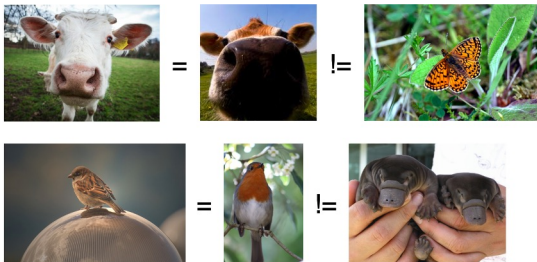




Tipos de datos

Antes de elegir cómo visualizar, hay que saber qué se visualiza: datos nominales (categorías sin orden), ordinales (con orden) y numéricos (con magnitud).

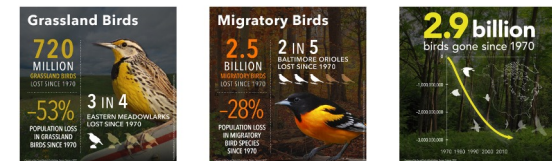
Nominal



Ordinal



Numérico

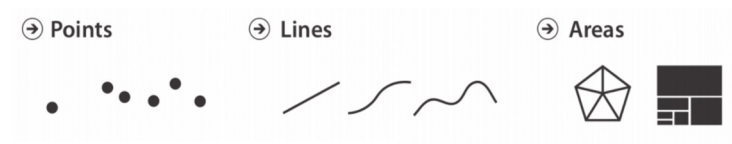




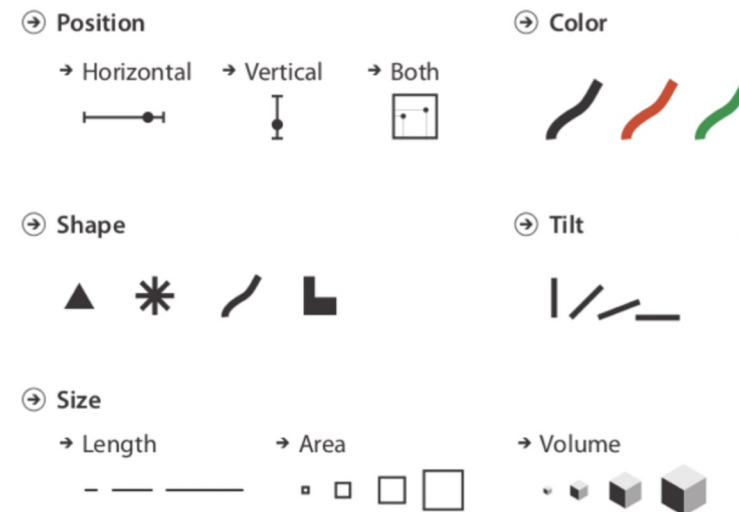
Marcas y canales: el alfabeto visual

Toda visualización se construye combinando marcas (puntos, líneas, áreas) con canales visuales (posición, color, tamaño, forma) — el alfabeto básico del diseño de visualización.

Marcas (geometría de representación)



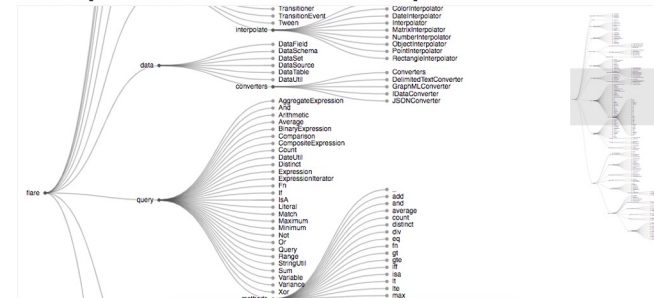
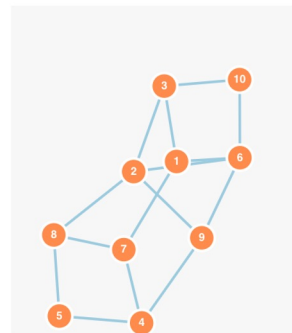
Canales (apariciencia de las marca)





Interacción: seleccionar, navegar, filtrar

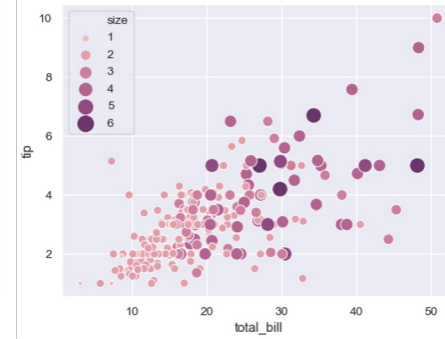
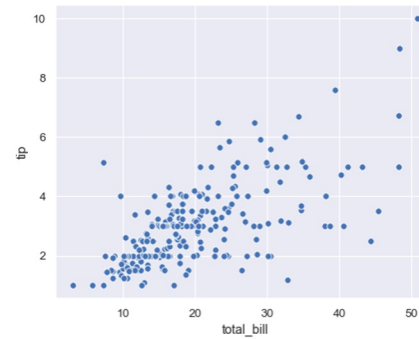
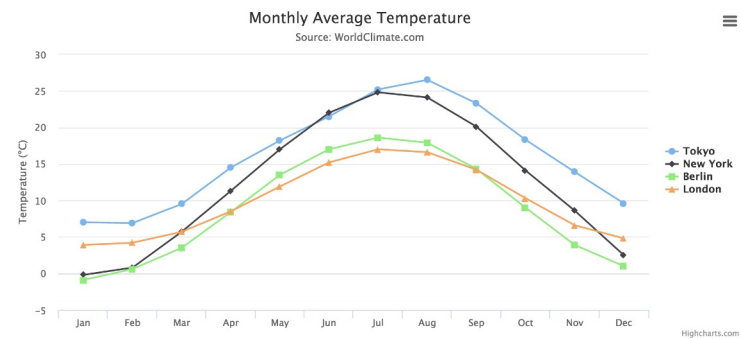
Una visualización estática solo cuenta una historia; la interacción —seleccionar, navegar, filtrar— permite que cada usuario explore la que le interesa a él.





Galería de técnicas I

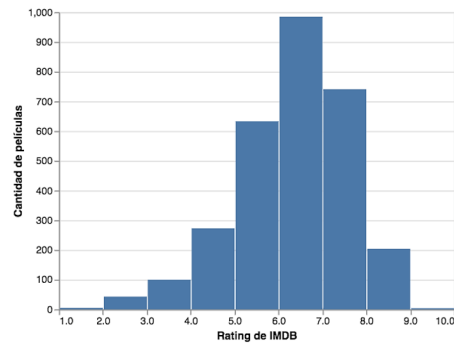
Gráficos de líneas para tendencias en el tiempo, de dispersión para relaciones entre variables, y de burbujas para agregar una tercera dimensión mediante el tamaño.





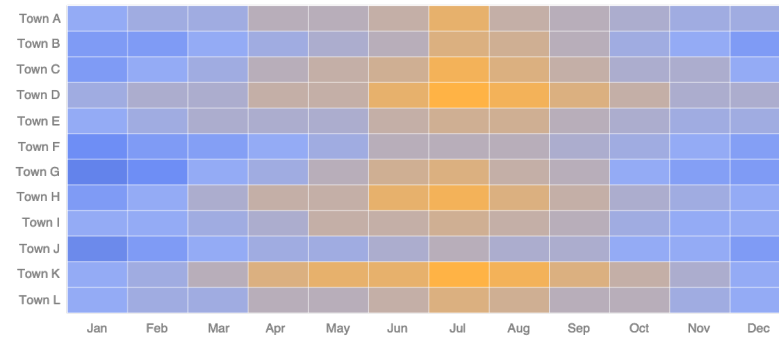
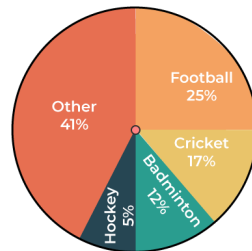
Galería de técnicas II

Histogramas para distribuciones, gráficos de torta para proporciones (con sus limitaciones conocidas), y mapas de calor para intensidad sobre dos dimensiones.



Reutilizada — ejemplo de histograma y gráfico de torta.

Number of Students

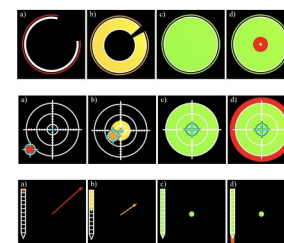
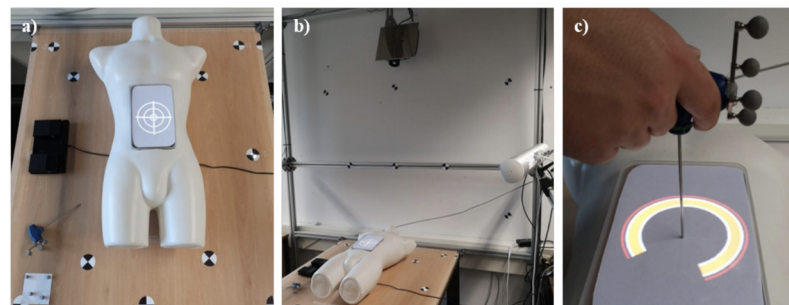


¿Qué pasa cuando los datos salen de la pantalla?



Casos de uso I: salud y bienestar

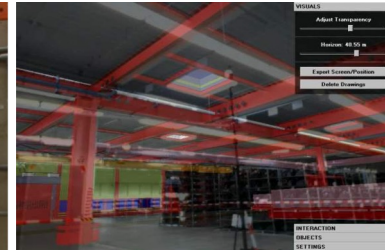
En salud, XR ya se usa para exponer gradualmente a pacientes con fobias, entrenar la aplicación de agujas médicas en entornos simulados, y apoyar diagnósticos asistidos por visualización inmersiva.





Casos de uso II: patrimonio, arte, industria

XR reconstruye sitios arqueológicos y monta instalaciones inmersivas para arte y formación, mientras en la industria detecta discrepancias entre el diseño CAD y la obra construida, y habilita telepresencia para reparaciones remotas.





Hito de masificación: Pokémon Go

Pokémon Go (2016) fue el primer contacto masivo del público general con la realidad aumentada — más de 500 millones de descargas en su primer año, y la prueba de que XR podía salir del laboratorio.



XR, VR, AR, MR: fijando el vocabulario



Definiciones formales

Antes de seguir, conviene fijar el vocabulario: qué entienden por “virtual” y “realidad” la RAE y Wikipedia, y cómo formalizan Realidad Virtual y Aumentada autores de referencia como Azuma.

Virtual

“Que tiene existencia aparente y no real.”

— RAE, 2014



Realidad

“Existencia real y efectiva de algo.”

— RAE, 2014



La definición de Azuma

- Combina lo real y lo virtual
- Interactivo en tiempo real
- Registrado en 3D



Wikipedia

“Realidad Virtual (VR) es una experiencia interactiva generada por computador que tiene lugar en un entorno simulado. Incorpora principalmente información auditiva y visual, pero también puede permitir otros tipos de información sensorial. Este entorno inmersivo puede ser similar al mundo real o puede ser fantástico.”

Wikipedia

“Realidad Aumentada (AR) es una experiencia interactiva de un ambiente del mundo real en el que los objetos que residen en el mundo real se “aumentan” con información perceptiva generada por computador, a veces a través de múltiples modalidades sensoriales, como la visual, la auditiva, la háptica, la somatosensorial y la olfativa. La información sensorial superpuesta puede ser constructiva o destructiva y se entrelaza perfectamente con el mundo físico, de modo que se percibe como un aspecto inmersivo del entorno real.”

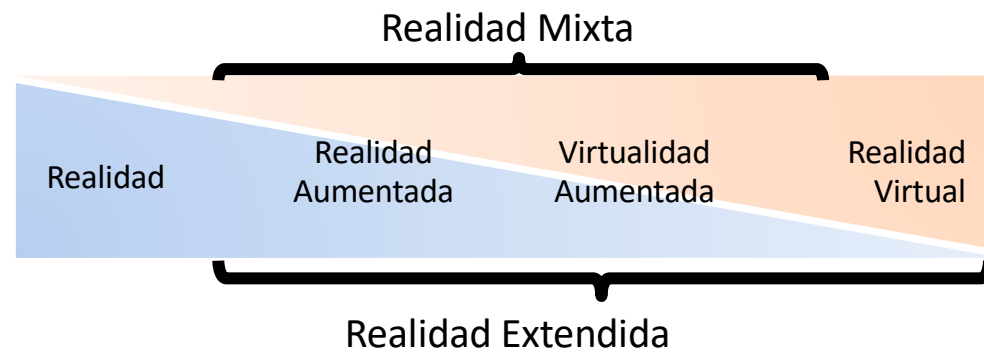


El continuo de Milgram

Milgram y Kishino (1994) proponen un espectro continuo entre la realidad y la virtualidad total, con la realidad aumentada y la virtualidad aumentada como puntos intermedios — no cuatro categorías cerradas.

FUENTE

Milgram & Kishino (1994). Diagrama base presente en los cuatro decks analizados.

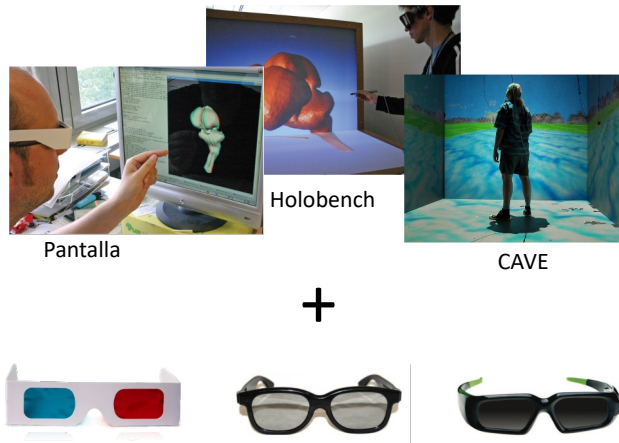


Hardware de XR



Cómo vemos: CAVE, Holobench, HMDs

Antes de los visores actuales, la inmersión se lograba con salas proyectadas como el CAVE, mesas de trabajo como el Holobench, y los primeros cascos de realidad virtual (HMDs).



Estéreo con lentes



Pantallas montadas en la cabeza



HMDs actuales: sensores densos

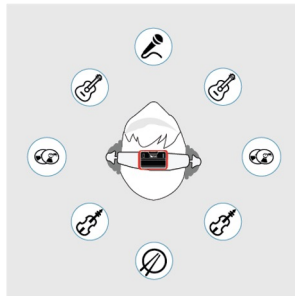
Los visores actuales integran sensores densos: cámaras de profundidad para mapear el entorno, eye-tracking para seguir la mirada, y micrófonos para interacción por voz — como en HoloLens y Apple Vision Pro.





Más allá de la vista

La inmersión no es solo visual: audio 3D posicional, retroalimentación háptica y, más experimental, estimulación olfativa, amplían el canal sensorial de un sistema XR.



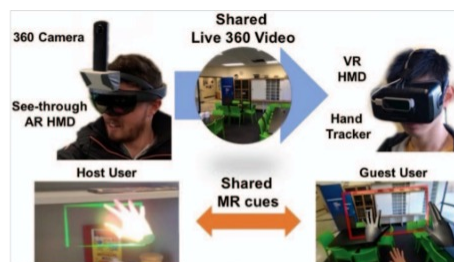


Colaboración, encarnación, movilidad

La literatura muestra sistemas de feedback biométrico compartido, avatares con representación corporal completa, y captura 3D con múltiples dispositivos para colaboración remota.



Dey, A., Chen, H., Zhuang, C., Billingham, M., & Lindeman, R. W. (2018, October). Effects of sharing real-time multi-sensory heart rate feedback in different immersive collaborative virtual environments. In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (pp. 165-173). IEEE.



Lee, G. A., Teo, T., Kim, S., & Billingham, M. (2018, October). A user study on my remote collaboration using live 360 video. In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (pp. 153-164). IEEE.



Kim, K., Boelling, L., Haesler, S., Bailenson, J., Bruder, G., & Welch, G. F. (2018, October). Does a digital assistant need a body? The influence of visual embodiment and social behavior on the perception of intelligent virtual agents in AR. In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (pp. 105-114). IEEE.



Cha, Y. W., Price, T., Wei, Z., Lu, X., Rewkowski, N., Chabra, R., ... & Ilie, A. (2018). Towards fully mobile 3D face, body, and environment capture using only head-worn cameras. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(11), 2993-3004.



Baur, D., Boring, S., & Feiner, S. (2012, May). Virtual projection: exploring optical projection as a metaphor for multi-device interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1693-1702).



Privacidad en XR

Un sistema que “ve” el entorno para aumentarlo también puede ver de más: RA consciente del contexto plantea preguntas de privacidad, y da lugar a propuestas como la “realidad disminuida” para ocultar selectivamente información sensible.



Grubert, J., Langlotz, T., Zollmann, S., & Regenbrecht, H. (2016). Towards pervasive augmented reality: Context-awareness in augmented reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 23(6), 1706-1724.



Yagi, K., Hasegawa, K., & Saito, H. (2017, October). Diminished reality for privacy protection by hiding pedestrians in motion image sequences using structure from motion. In *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)* (pp. 334-337). IEEE.



Visualización situada (y su contraejemplo)

La visualización situada ancla los datos directamente al objeto o lugar del mundo real al que se refieren — pero solo funciona cuando el anclaje espacial es preciso; un mal ejemplo confunde más de lo que aclara.



Image: Sean White and Steve Feiner

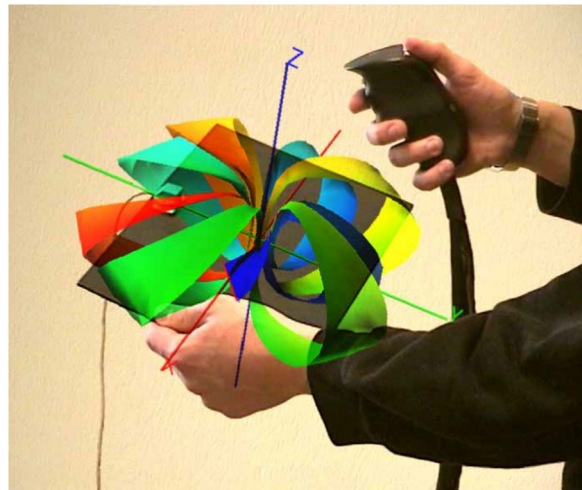
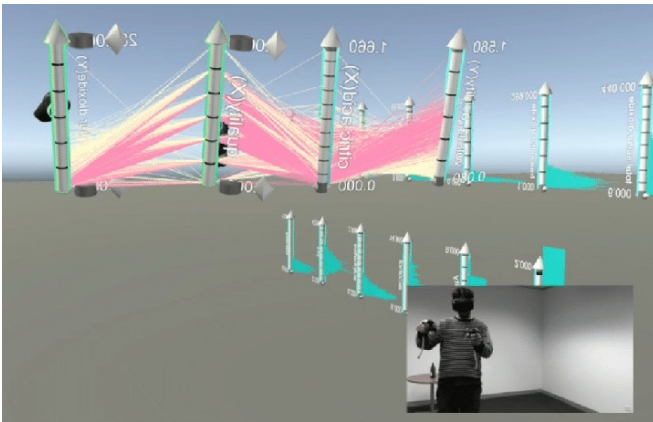


Image: Anton Fuhrmann

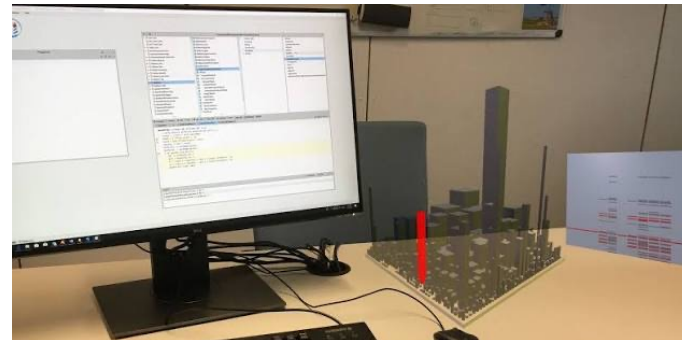


Analíticas inmersivas

ImAxes permite manipular ejes de datos como objetos físicos en el espacio; los cubos matriciales representan redes en 3D; PerfVis lleva el análisis de rendimiento de software a un entorno inmersivo.



Captura de ImAxes o cubos matriciales.

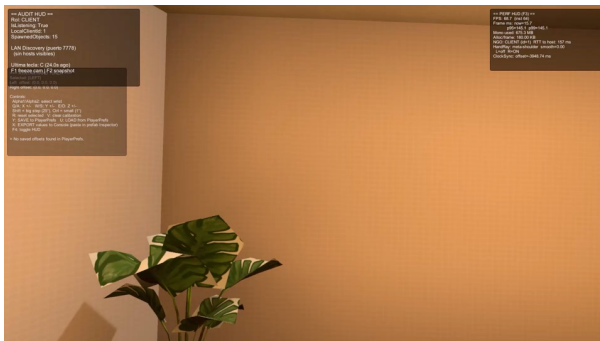


Captura de PerfVis.

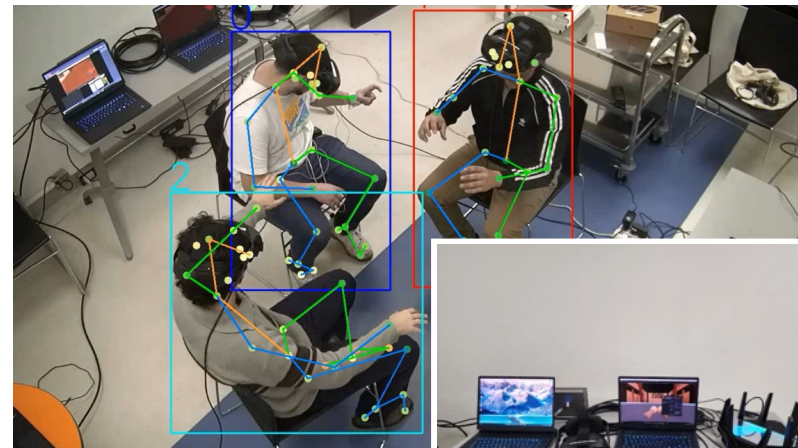


Caso de estudio: CollaborationXR

Prototipo de investigación (Unity 2022.3 + OpenXR, HTC Vive Focus Vision): seguimiento de manos (pinch/poke/ray), una tarea colaborativa física con Jenga, y eye-tracking que registra mirada, pose de cabeza, pupila e interacciones por área de interés — todo con logging estructurado.



Captura de pantalla del prototipo: tarea colaborativa de Jenga en Unity/OpenXR.



Visualización de los datos de eye-tracking registrados por el sistema.



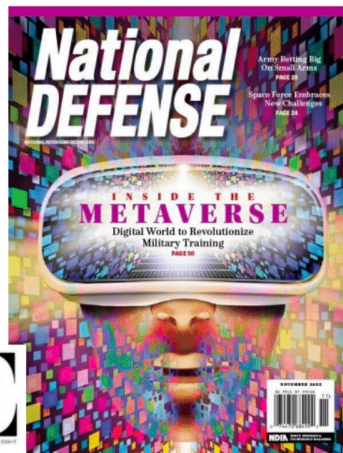
De la colaboración a la biometría

Las señales que xr-collaboration-proto2 captura para estudiar colaboración y usabilidad: mirada, pupila, pose de cabeza, movimiento de manos.



Señales capturadas.





“El mundo técnico-profesional debe aportar más a la investigación aplicada, la transferencia tecnológica y a la innovación”

Metaverso es trending topic!!

CARLOS DÍAZ, RECTOR DE DUOC UC.

El mundo técnico-profesional debe aportar más a la investigación aplicada, la transferencia tecnológica y a la innovación. Carlos Díaz, rector de Duoc UC, afirma que el metaverso es un tema que está ganando mucha relevancia y que es necesario que el sector educativo se prepare para los desafíos que este mundo virtual plantea.

El metaverso es un espacio virtual donde los usuarios pueden interactuar entre sí y con objetos digitales. Este mundo virtual está siendo desarrollado por empresas tecnológicas como Facebook (que ahora se llama Meta) y Microsoft. El metaverso tiene el potencial de revolucionar la forma en que nos comunicamos, trabajamos y nos divertimos.

El reto para el sector educativo es cómo preparar a los estudiantes para este mundo virtual. Carlos Díaz afirma que es necesario que las universidades y centros de formación técnica se preparen para los desafíos que el metaverso plantea. Esto implica invertir en tecnología, capacitar a los docentes y desarrollar programas de estudio que preparen a los estudiantes para el mundo del metaverso.

El metaverso también plantea desafíos éticos y de privacidad. Es importante que se establezcan normas y regulaciones que protejan a los usuarios y aseguren que el metaverso sea un espacio seguro y saludable.

El metaverso es un mundo lleno de oportunidades. Si nos preparamos adecuadamente, podemos aprovechar todas las ventajas que este mundo virtual nos ofrece.

COMPETENCIA 2023: Challenge de Innovación se enfocará en desafíos del metaverso

FIF UC 2023 anunció para este 4 y 5 de julio la nueva versión de su Challenge de Innovación, competencia que este año se centrará en la exploración de oportunidades y problemáticas dentro del metaverso y experiencias inmersivas.

El Challenge de Innovación, que busca fomentar la creatividad y el espíritu emprendedor en los estudiantes de pre y postgrado, anunció que en su versión 2023 abrirá su convocatoria a alumnos de pre y postgrado de todas las universidades, permitiendo así que los estudiantes puedan participar en la competencia. Esta apertura es una oportunidad para que los estudiantes puedan mostrar sus habilidades y conocimientos en el mundo del metaverso.

La competencia es el lugar ideal para que los estudiantes puedan demostrar sus habilidades y conocimientos en el mundo del metaverso. Los estudiantes podrán participar en la competencia de forma individual o en equipos. Los ganadores de la competencia recibirán premios y tendrán la oportunidad de presentar sus proyectos en un evento de innovación.

El Challenge de Innovación es una oportunidad para que los estudiantes puedan demostrar sus habilidades y conocimientos en el mundo del metaverso. Los estudiantes podrán participar en la competencia de forma individual o en equipos. Los ganadores de la competencia recibirán premios y tendrán la oportunidad de presentar sus proyectos en un evento de innovación.

metaverse [meh-tuh-vurs]
noun

The next generation of the internet that is (1) **always real-time** and (2) **mostly 3D**, (3) **mostly interactive**, (4) **mostly social** and (5) **mostly persistent**.

Tiempo real
3D
Interactivo
Social
Persistente

John Riccitiello, ex director ejecutivo de Unity Technologies

**AWE
USA**



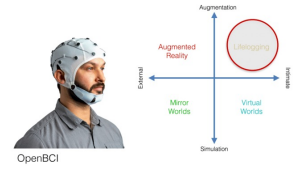
Augmentation

Augmented Reality

Lifelogging

Lifelogging

- Midiendo el estado interno de usuarios
- Capturando señales fisiológicas
 - Grabando la vida diaria
 - Humanos aumentados



External

Intimate

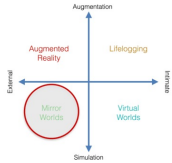
Mirror Worlds

Virtual Worlds

Simulation

Mirror Worlds

- Simulaciones de espacio/contenido externo
- Capturan y comparten el entorno
 - Contenido fotorealista
 - Gemelos digitales



...al metaverso: ¿es seguro?



Por qué la seguridad en XR es distinta

La seguridad en XR no es “la seguridad de siempre” aplicada a un nuevo dispositivo — cambia la naturaleza misma de la interacción:

FUENTE

Paper 1 (Rahartomo, Merino & Ghafari) — Abstract.

- Encarnada — el cuerpo del usuario es la interfaz, no un mouse o teclado
- Continua — el sistema captura datos de forma ininterrumpida, no en eventos puntuales
- Dependiente del contexto — el riesgo cambia según el entorno físico y social del usuario



Dos revisiones sistemáticas propias

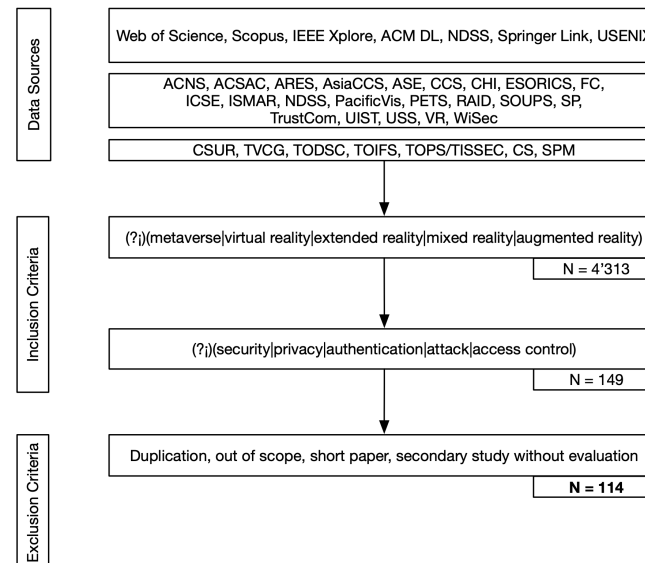
Con Rahartomo y Ghafari desarrollamos dos revisiones sistemáticas de literatura: una sobre autenticación en el metaverso (64 estudios) y otra sobre seguridad y privacidad del metaverso en general (114 estudios), preguntando qué se ha investigado y con qué evidencia.





Metodología SLR: de 4.313 a 114 estudios

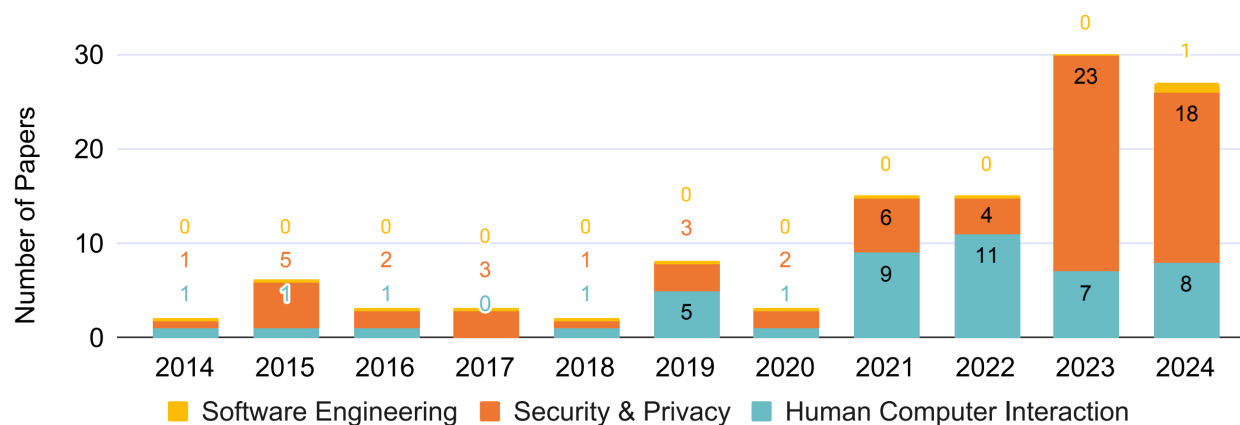
La revisión de seguridad y privacidad partió de 4.313 estudios candidatos y, tras un protocolo sistemático de cribado (títulos, resúmenes, texto completo, snowballing), llegó a un corpus final de 114 estudios primarios.





Una década de crecimiento

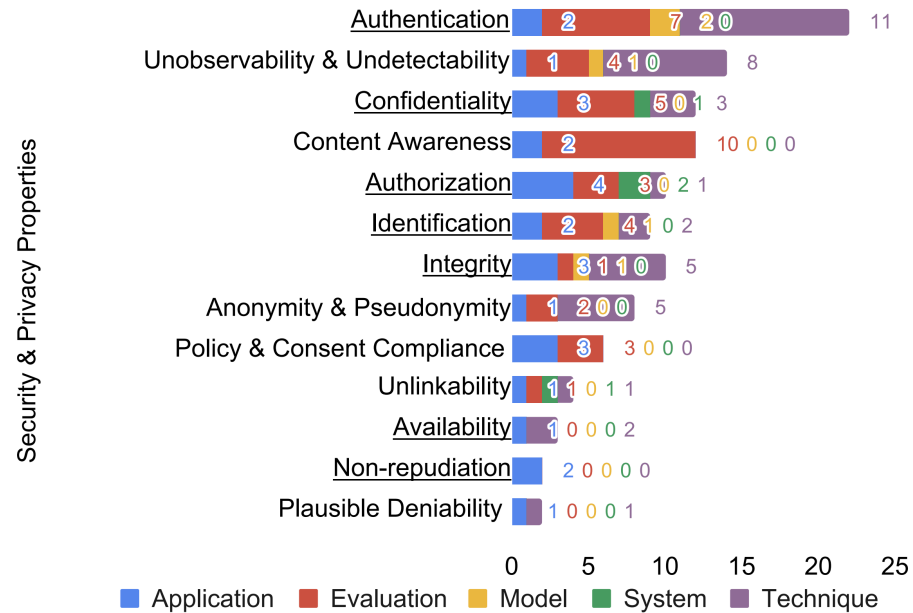
El interés académico creció de forma sostenida: de apenas 2 papers al año a comienzos de la década a 27 papers al año en el último período — el 78.95% de los 114 estudios se publicó en los últimos 5 años.





¿Qué propiedades se investigan más?

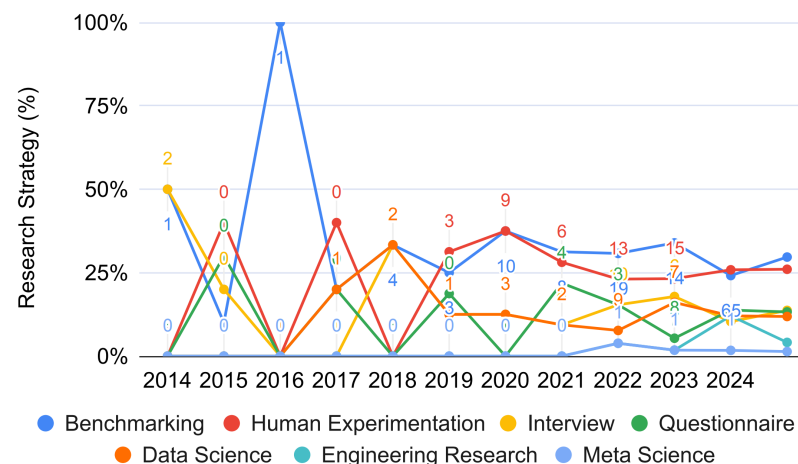
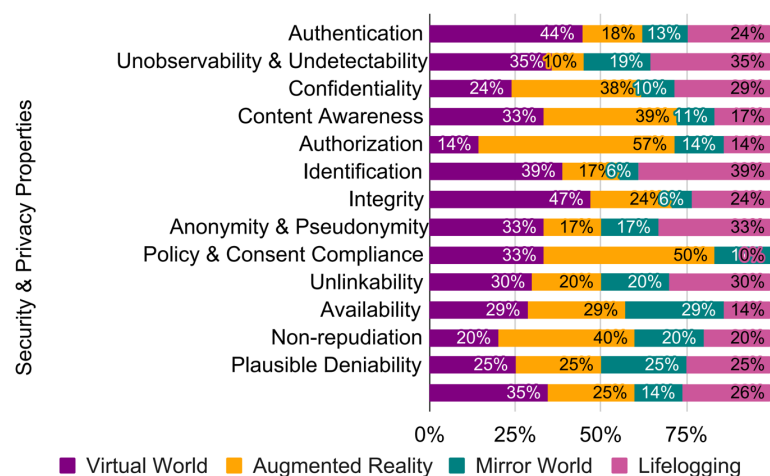
En seguridad, la autenticación domina (22 de 68 estudios) seguida de confidencialidad (12/68). En privacidad, unobservability lidera (14/46) seguida de content awareness (12/46) — hay huecos claros en el resto de propiedades.





Dónde se concentra el riesgo, y cómo se evalúa

El riesgo se concentra en mundos virtuales (74 estudios), lifelogging (56), RA (55) y mirror worlds (30); el 57% de los estudios de autorización se enfocan en RA por su “sensado perceptual” continuo. La evaluación predomina vía benchmarking (30%) y experimentación con humanos (26%), con una mediana de 25 participantes.





Brechas del panorama general

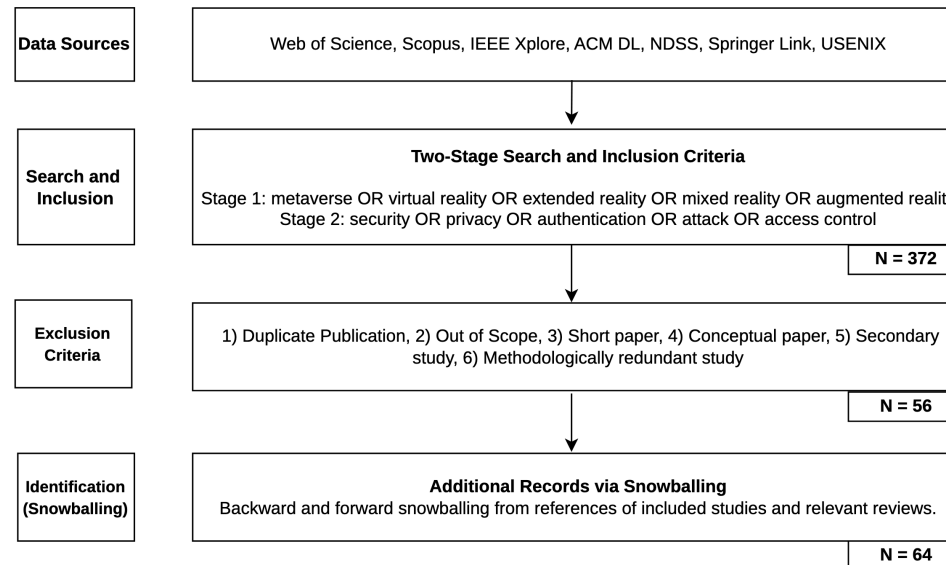
El cruce de 114 estudios deja huecos notorios:

- Solo 3 estudios abordan interoperabilidad entre plataformas
- Solo 1 estudio aborda accesibilidad para usuarios con discapacidad
- Vacíos regulatorios: poca conexión explícita con marcos como el GDPR
- Preguntas de escalabilidad prácticamente sin explorar



Zoom-in: autenticación en el metaverso

Para profundizar en autenticación, partimos de 372 estudios candidatos y, mediante snowballing sistemático, llegamos a un corpus final de 64 estudios primarios centrados específicamente en autenticación en el metaverso.



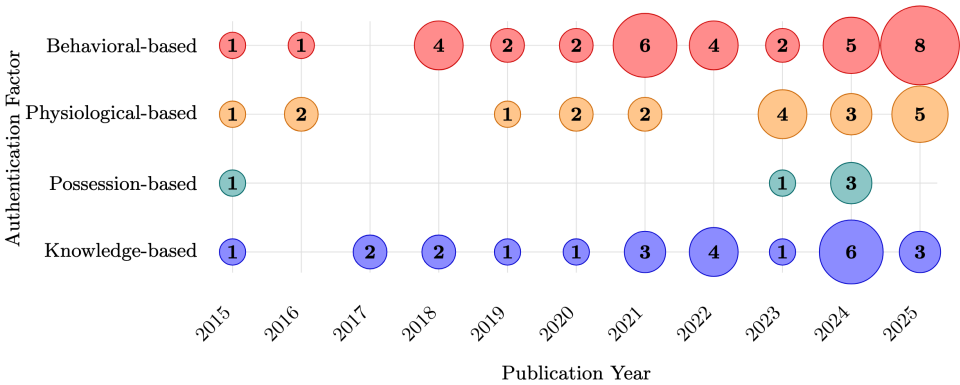
Taxonomía de autenticación

Los 64 estudios se agrupan en cuatro familias: autenticación conductual (35 estudios: mano, mirada, cabeza, gestos), de conocimiento (24: PIN, contraseña, patrón), fisiológica (20: voz, iris, expresión facial) y de posesión (5: llaves criptográficas, QR).

Factor	Mechanisms
Knowledge (24)	PIN (16), Password (7), Pattern Lock (3)
Possession (5)	Cryptographic credentials (4), One-Time Password (1), QR Code (1)
Physiological (20)	Acoustic response (4), Iris recognition (4), Voice (4), Facial expression (3), Pupil-based (3), Vital sign (2), Electrooculography (1), Muscle response (1)
Behavioral (35)	Hand Motion (13), Eye Gaze (12), Head Motion (8), Gesture-based (7), Task-based (3), Body motion (2), Micro-movement (2), Rhythm-based (2), Gait (1)

CALLBACK

Mano, mirada, pupila y cabeza son exactamente las señales que xr-collaboration-proto2 captura (lámina 32).





Ataques específicos de XR

Tres vectores de ataque que no existen fuera de un sistema encarnado y continuo:

- Shoulder surfing — entre 18% y 40% de las contraseñas por gestos pueden inferirse observando al usuario
- Avatares “doppelgänger” — suplantación mediante clones visuales del avatar de otra persona
- Replay attacks — reenvío de datos de autenticación biométrica previamente capturados y válidos



La brecha de reproducibilidad

Solo el 25% de los artefactos de investigación en autenticación XR son reproducibles, y el desempeño de los sistemas se degrada tras 7 a 18 meses de uso real — la evidencia de laboratorio no siempre sobrevive al mundo real.

ECO NARRATIVO

26% de código abierto en 2016 (visualización, lámina 44) vs. <25% de reproducibilidad hoy (autenticación) — el mismo problema, una década después, en un campo distinto.

PaperID	Repo. URL	Artefact	Framework	Language	Hardware
P01	EX-Gaze	AC,ED,EX	—	Python	Davis346, Jetson Orin Nano
P02	—	—	Unity	Java, Python	Meta Quest Pro, Oculus Quest
P03	VR UserID	AC,ED,EX	—	Python	Oculus Quest 2
P04	PipID	AC,EX	Unity	C#	Meta Quest Pro
P05	—	—	OpenXR ¹ ,Unity	C#	Meta Quest Pro
P06	—	—	Unity	C#, Python	HTC Vive Pro
P07	—	—	Meta SDK	Python	Meta Quest
P08	—	—	Unity	—	Meta Quest 3
P09	Terascale	AC,ED,EX	—	Python	—
P10	ProVerif	ED	A-Frame, WebXR	Javascript	HTC Vive Pro
P11	—	—	Unity	Python	Meta Quest Pro
P12	—	—	—	—	HTC Vive Pro
P13	HT	AC,ED,EX	—	Python	Meta Quest 2
P14	—	—	Unreal	—	Meta Quest
P15	SocialVR	AC,ED,EX	Unity	C#	Oculus Quest 2
P16	—	—	—	Java	—
P17	—	—	Oculus SDK, Unity	C#	HTC Vive, Oculus Quest
P18	—	—	Unity	C#	Meta Quest 2
P20	Mops	AC,ED,EX	Unity	Python	—



Guías de diseño y agenda futura

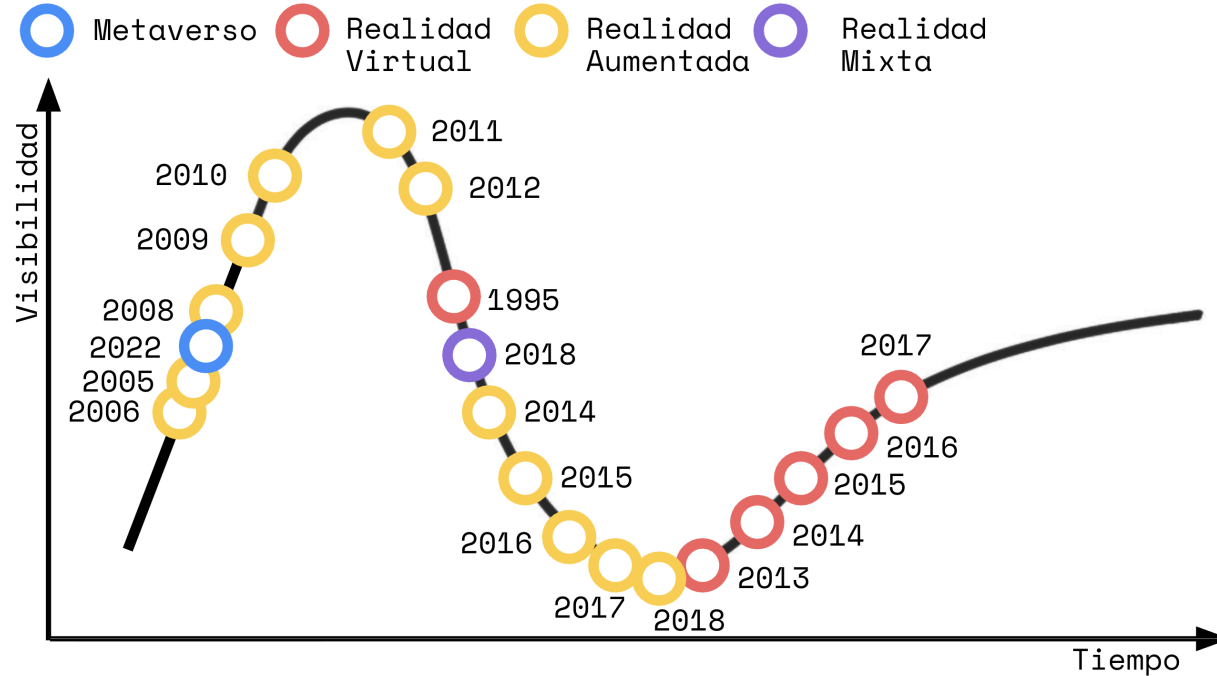
Del cruce de ambas SLR surgen guías de diseño y una agenda de investigación pendiente:

- Identidad persistente y verificable, sin fricción para el usuario
- Autenticación continua y no disruptiva, integrada al flujo de la experiencia
- Diseño inclusivo y “body-agnostic”, que no asuma un solo tipo de cuerpo o capacidad
- Modelado de amenazas realista, artefactos reproducibles, evaluación multidimensional



El metaverso en el ciclo de hype de Gartner

La Realidad Virtual y Aumentada ya atravesaron su pico de expectativas; la Realidad Mixta y el “Metaverso” aparecen más recientemente en la curva — un dato de mercado que, junto al crecimiento académico visto en la lámina 43, sugiere que el interés no es solo moda.





UC | Chile

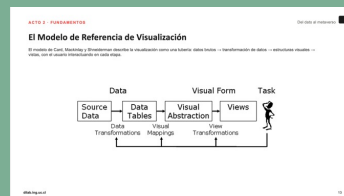
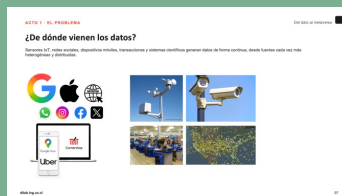
Del dato al metaverso



Del dato al metaverso

Diseñando experiencias inmersivas seguras y centradas en el usuario

"Producir es barato. Juzgar lo que se produce, y confiar en ello, no lo es."



Leonel Merino, Ph.D.

Profesor Asistente
Escuela de Diseño
Escuela de Ingeniería
PUC Chile

dilab.ing.uc.cl

