



DE LA VR A LA ER EN LA RECUPERACIÓN DEL PATRIMONIO ARTÍSTICO

LIDÓN RAMOS-FABRA ¹, CARLOS PESQUEIRA-CALVO ¹, DAVID GARCÍA LEÓN ¹, EMILIO DELGADO-MARTOS ¹

¹ Universidad Francisco de Vitoria, España

PALABRAS CLAVE

Realidad Virtual (RV)
Recuperación de patrimonio
Realidad Extendida (ER)
Instalaciones site-Specific
Experiencias inmersivas
Arte contemporáneo
Realidad Mixta (MR)

RESUMEN

La primera contribución del proyecto consiste en evaluar la aplicación de la realidad virtual (RV) en la recuperación del patrimonio artístico. La RV emerge como una herramienta innovadora, transformando la interacción de los espectadores con las obras mediante entornos tridimensionales generados por ordenador. Esta tecnología permite a los artistas desarrollar instalaciones interactivas y experiencias inmersivas, donde los usuarios no solo observan, sino que participan activamente. El proyecto ha evolucionado hacia la optimización de la RV, ampliando su aplicación desde la recuperación del patrimonio hasta la creación de nuevas obras completamente virtuales, con el potencial de integrar inteligencia artificial en futuras experiencias artísticas.

Recibido: 30/ 06 /2025

Aceptado: 01/ 10 /2025

1. Integración de la realidad virtual en la conservación y reinterpretación de instalaciones artísticas efímeras: Un enfoque interactivo basado en la estructura del laberinto

La incorporación de la Realidad Virtual (VR) en el ámbito de las instalaciones artísticas representa una innovación en la exploración del espacio y la percepción sensorial. VIRTUAL MAZE se enfoca en la recreación virtual de instalaciones efímeras, con énfasis en aquellas inspiradas en la estructura del laberinto, un concepto que simboliza lo enigmático y transitorio. A través de la VR, se busca no solo conservar estas obras, sino también enriquecer su experiencia interactiva y perceptiva.

El estudio se basa en la reconstrucción virtual de tres instalaciones icónicas: el Café Terciopelo y Seda de Mies van der Rohe, el Laberinto de Dan Graham y el Laberinto de Transcromías de Carlos Cruz-Diez. La VR ofrece nuevas oportunidades para la preservación y reinterpretación de estos espacios, aunque también plantea desafíos en la representación de materiales, luz y transparencia.

A diferencia de la mayoría de las experiencias en VR, que son esencialmente contemplativas, este proyecto busca una aproximación más interactiva, permitiendo que el espectador transite activamente por la obra. En este sentido, la reconstrucción del Laberinto de Transcromías servirá como un modelo para explorar el potencial de la VR en la conservación y evolución de instalaciones artísticas efímeras, estableciendo nuevas metodologías para su integración en el arte contemporáneo.

2. Un estudio sobre la experiencia laberíntica y la percepción espacial

VIRTUAL MAZE (VM1) representa una iniciativa orientada a la integración de la Realidad Virtual (VR) en los procesos creativos relacionados con las instalaciones artísticas, particular e inicialmente, aquellas inspiradas en el concepto de laberinto. Este fenómeno se remonta al mito griego de Teseo y el Minotauro, en el cual el laberinto se presenta como un espacio singular, no comparable con otros entornos conocidos, actuando como una frontera entre lo visible e invisible, lo evidente y lo oculto. En el marco de este proyecto, se explorará el laberinto como un detonante creativo en la formulación de instalaciones artísticas contemporáneas.

La incorporación de la Realidad Virtual (VR) como herramienta inmersiva en el contexto de las instalaciones artísticas constituye un avance significativo en este campo. La naturaleza efímera de las instalaciones, que generalmente están diseñadas para ser construidas y luego desvanecerse, se ve contrarrestada por la posibilidad de conservar estas obras mediante la VR, permitiendo su preservación de manera inmutable en el entorno digital.

El enfoque del proyecto se centra en la recreación de instalaciones efímeras que, en su momento, representaron innovaciones en el uso de materiales, luz, reflexión y recorridos espaciales. Como base para el estudio, se seleccionaron tres instalaciones emblemáticas: el Café "Terciopelo y Seda" de Mies van der Rohe, el "Laberinto" de Dan Graham, el cual vincula la estructura urbana con la idea del laberinto, y la obra de Carlos Cruz-Diez, quien a través del color y la transparencia genera complejas experiencias visuales que inducen al espectador a perderse en un laberinto cromático.

A diferencia de las herramientas artísticas convencionales, la VR permite una multiplicidad de aproximaciones hacia un mismo fin, ofreciendo nuevas posibilidades de exploración. En este sentido, el proyecto considera la VR de manera integral, reconociendo la complejidad de los procesos tecnológicos implicados, tales como la programación avanzada y el empleo de software especializado, que son necesarios para alcanzar los resultados deseados.

La complejidad inherente al proyecto no solo se refiere a la reinterpretación y reconstrucción de las instalaciones, sino también a los desafíos materiales asociados, como el manejo de superficies translúcidas, materiales reflectantes y las propiedades intrínsecas de la luz. Estos elementos constituyen dificultades técnicas que deben ser resueltas durante el desarrollo del proyecto.

La adopción del lenguaje de la realidad virtual permitirá investigar no solo los aspectos tangibles previamente mencionados, sino también la transformación conceptual del laberinto cuando transita de lo físico a lo virtual. Los retos técnicos asociados con esta transición representan uno de los principales desafíos de la investigación, así como una de las claves del diseño del proyecto. A pesar de los avances en la tecnología de VR, este campo sigue siendo un área de gran potencial para la exploración, donde elementos como la intervención del espectador, el color y la transparencia desempeñan un papel determinante. Finalmente, el proyecto se orienta hacia el desarrollo de una de estas instalaciones, la cual

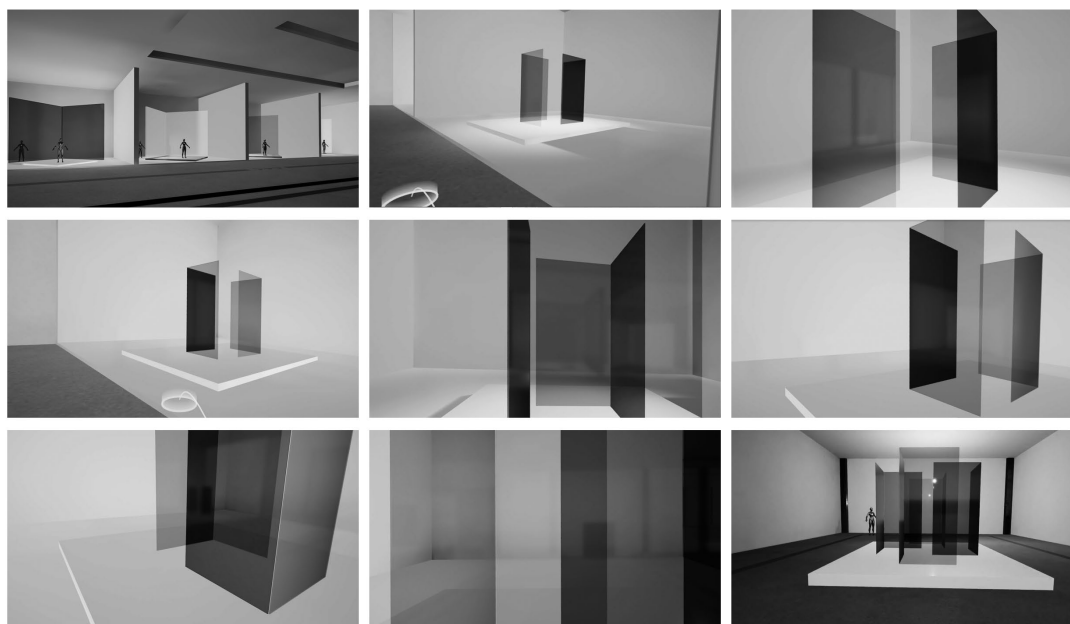
integrará los aspectos visuales, mitológicos y técnicos abordados en la investigación. La obra seleccionada para este propósito es el "Laberinto de Transcromías" de Carlos Cruz-Díez.

En el contexto de la Realidad Virtual (VR), las características fundamentales para crear un espacio virtual efectivo son inmersión, interacción e imaginación (Burdea y Coiffet, 2003; Grau, 2004). Estas cualidades se manifiestan de manera crucial en las instalaciones artísticas basadas en recorridos laberínticos, donde la experiencia subjetiva de atravesar el espacio es esencial (Lee, 2004; Slater, 2007). En la VR, esta sensación se traduce en una percepción del entorno similar a la experiencia física, permitiendo que el espectador se "mueva" a través del espacio de forma envolvente (Simó, 2019).

Actualmente, la mayoría de las instalaciones artísticas en VR son predominantemente contemplativas y demostrativas, sin implicar una interacción activa del espectador en recorridos complejos como los de un laberinto. Estas experiencias tienden a ser representaciones de obras artísticas tradicionales, adaptadas a la tecnología VR sin alterar significativamente el entorno, como es el caso de exposiciones inmersivas de artistas como Van Gogh, Klimt y Sorolla. Aunque existen aproximaciones que permiten la interacción en entornos virtuales, como el teatro inmersivo (Machon, 2013) y performances virtuales de artistas como Marina Abramovich, aún persiste una falta de exploración profunda de la VR como medio para crear espacios artísticos de tipo laberíntico.

El proyecto en cuestión busca explorar las potencialidades creativas de la VR para la recreación de instalaciones artísticas efímeras. Se enfoca especialmente en la reconstrucción virtual de la instalación "Laberinto de Transcromías" de Carlos Cruz-Díez, un proyecto que juega con el color, la transparencia y las reflexiones del material. A través de la VR, se pretende recrear no solo los elementos visuales de la obra, sino también su interacción con la luz y la percepción del espectador, lo cual es fundamental para mantener la esencia de la instalación original.

Figura 1. Aproximación inicial. Pruebas de transparencia, tamaño y materiales. Imagen: Virtual Maze



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.1. Metodología para la reproducción de instalaciones artísticas en realidad virtual: Análisis técnico y optimización en la simulación de materiales en Unreal Engine

El párrafo de arranque no tiene sangría. Un análisis preliminar de la instalación de la obra de Cruz-Díez identifica varios desafíos a nivel técnico en la reproducción de la obra y los materiales empleados.

Este análisis detallado pone de manifiesto ciertos factores clave que deben considerarse al trasladar la obra a un entorno de realidad virtual, tales como:

- Nivel de transparencia.
- Nivel de reflexión.
- Nivel de refracción.

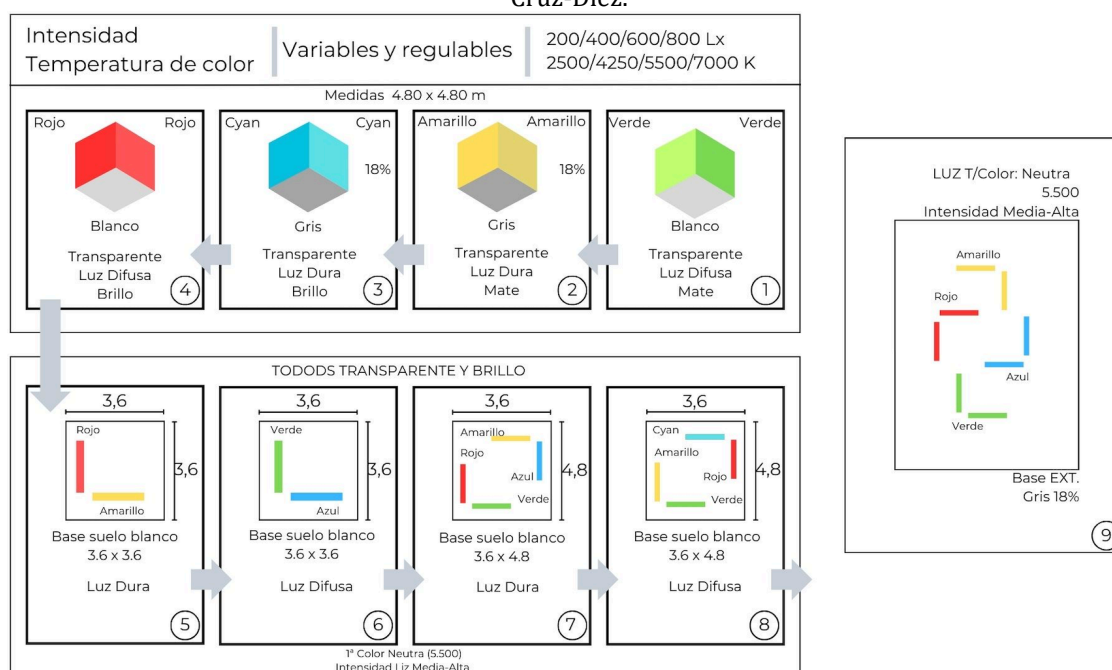
Estos aspectos resultan fundamentales para lograr una reproducción fiel de la obra, dada la naturaleza del sistema en el que se lleva a cabo la instalación. Las experiencias o aplicaciones de realidad virtual son sistemas que requieren un alto grado de optimización (Hsiang et al., 2021), especialmente cuando se busca replicar un nivel elevado de realismo. Este nivel de optimización es determinante en la elección de la metodología y las herramientas de trabajo utilizadas en el proceso de recreación.

La plataforma seleccionada para la reproducción de la experiencia es Meta Quest 2, un sistema con seguimiento de pose Inside-Out. La principal ventaja de estos sistemas radica en su capacidad para prescindir de sensores externos o cámaras que delimiten el área de trabajo. Dado que el nivel de realismo es crucial en esta instalación, se opta por la opción de conectar el sistema Quest 2 a un ordenador mediante cable. Aunque este enfoque podría limitar los movimientos del usuario dentro de la experiencia, la compresión de texturas y los niveles de transparencia mejoran considerablemente en comparación con el sistema móvil de Quest 2.

La plataforma elegida para la creación de la experiencia es Unreal Engine (Epic Games, 2023), versión 5.1.1. Este motor gráfico se destaca por su capacidad para generar un alto grado de realismo en la creación de materiales y la iluminación de entornos, lo que lo convierte en una opción ideal para el desarrollo de sistemas de virtual scouting (Kadner, 2019) o instalaciones de este tipo. La experiencia inicial se basa en un proyecto estándar de VR, con la mecánica de teletransporte implementada. Esto permite al usuario moverse libremente, ya sea por voluntad propia o utilizando el mando de la Quest 2. Con estas mecánicas implementadas, se cumple con el requisito de exploración libre, y la opción de teletransporte posibilita la creación de escenarios más amplios que el área física disponible para la instalación de realidad virtual.

Antes de abordar la reproducción de la obra de Cruz-Díez, se establece una escena base con diferentes conjuntos de prueba de materiales, que servirán para experimentar con las condiciones de luz, transparencia, reflexión y refracción de los materiales. Estos conjuntos permiten probar la reacción de los materiales nativos de Unreal Engine, buscando las propiedades que más se asemejen al nivel de realismo requerido para la reproducción de la obra. El sistema de materiales de Unreal Engine utiliza el flujo de trabajo PBR (Physically Based Rendering), que emula la respuesta física de materiales reales dentro de un sistema de renderizado (Pharr et al., 2016). Bajo este enfoque, se establecen variables para evaluar la eficacia y el realismo de los distintos materiales en cada conjunto experimental.

Figura 2. Esquema de Variables para experimento basado en la obra "Laberinto de Transcromías" de Carlos Cruz-Díez.



Fuente: Creación propia, 2023

Tabla 1. Centrado en escala de grises.

Parámetro PBR	Dato
Metallic	0
Specular	1
Roughness	0
Opacity	0.1
Refraction	1

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 2. Parametros y propiedades del experimento

Propiedad	Parámetro PBR
Transparencia	Opacity
Reflexión	Roughness Specular o Metallic
Refracción	Refraction
Tinte	Color

Fuente: Elaboración propia, 2023

Con base en los elementos críticos identificados en el análisis inicial de la obra de Cruz-Díez, se establece una relación directa entre los parámetros del material PBR y las propiedades mencionadas. Esta correlación de variables se emplea para realizar la comparación entre los diferentes conjuntos experimentales. De entre los modelos de sombreado disponibles en PBR para definir el comportamiento físico de los materiales, se selecciona el modelo Thin Translucent. Este modelo de sombreado es el que ofrece una mayor cantidad de parámetros, lo que permite reproducir con mayor fidelidad el comportamiento físico de un material como el cristal utilizado en la instalación de Cruz-Díez.

Tabla 3. Parámetros y propiedades el experimento

Propiedad	Parámetro PBR
Transparencia	Opacity
Reflexión	Roughness Specular o Metallic
Refracción	Refraction
Tinte	Color

Fuente: Elaboración propia, 2025

Una vez analizados diversos materiales mediante combinaciones de estas variables, sometidos a distintos tipos de iluminación, se procede a desarrollar una instalación detallada de la obra de Cruz-Díez. Este nivel tiene como objetivo aplicar los resultados obtenidos de los conjuntos experimentales. La instalación final reproduce únicamente cuatro diedros, cada uno con un color distinto, utilizando las condiciones de luz y ambientales previstas para la instalación completa. En Unreal Engine, los parámetros de los materiales se miden en una escala decimal de 0 a 1, donde 0 representa la ausencia total de la propiedad en la superficie del material, y 1 representa su máxima intensidad. Los parámetros finales para reproducir el cristal de los diedros tienen la siguiente configuración:

Tabla 4. Parámetros finales para reproducción del cristal de los diedros

Parámetro PBR	Dato
Metallic	0
Specular	1
Roughness	0
Opacity	0.1
Refraction	1

Fuente: Creación propia, 2025

Finalmente, se utilizan las herramientas de Adobe Substance Painter (Adobe, 2021) para crear las texturas de los materiales base, correspondientes a las condiciones ambientales de la sala, como el suelo y las paredes.

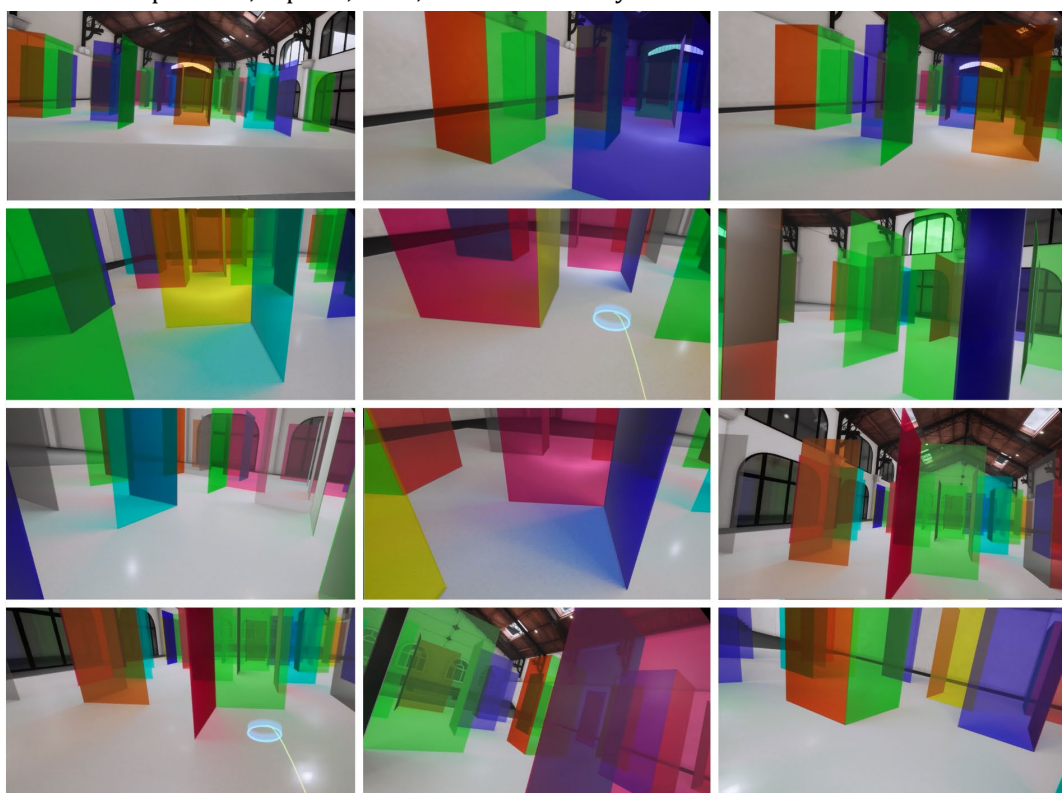
2.2. Evaluación de la realidad virtual y la realidad extendida en la recreación de instalaciones artísticas: análisis de interacción, materialidad e inmersión en Virtual Maze

La Realidad Virtual (VR) fue considerada una herramienta eficaz para recrear espacios, recorridos y la materialidad de instalaciones artísticas, permitiendo, aunque con ciertas limitaciones, una interacción eficiente entre el espectador y figuras humanas virtuales. Los resultados técnicos alcanzados lograron una aproximación fiel a la obra original, respaldada por datos específicos obtenidos de los observadores, los cuales contribuyeron al avance del proyecto. Este éxito se fundamentó en una investigación exhaustiva sobre la documentación y los materiales necesarios para la recreación de instalaciones artísticas Site-Specific (Ramos Fabra y Pesqueira Calvo, 2023).

Un avance significativo en el proyecto fue una reorientación hacia la realidad extendida (XR), una opción más adecuada para este tipo de experiencias, ya que permitió una integración más fluida entre elementos virtuales y reales, superando algunas de las limitaciones que presentaba la VR en términos de interacción y realismo.

Entre las experimentaciones realizadas en Virtual Maze 1.0 (realidad virtual) y Virtual Maze 2.0 (realidad mixta) se exploró el perfeccionamiento del entorno de la exposición planteada en Virtual Maze 1.0 desde la realidad virtual. El resultado fue que la experiencia de la instalación se alejaba aún más de sensación de inmersión total que se pretendía, ya que la definición del espacio que rodeaba la obra distorsionaba la percepción buscada en el laberinto de colores.

Figura 3. Recreación de la Instalación "Laberinto de Transcromías" de Carlos Cruz-Díez. Pruebas de transparencia, espacio, color, sombras amaño y materiales en Realidad Virtual.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Para ello se modificó la metodología técnica virando hacia la realidad extendida como se describe a continuación.

3. Desarrollo e implementación de la segunda fase del proyecto: optimización de materiales, inmersión y experiencia espacial en entornos XR

Dentro del espacio de Realidad Extendida (XR), compuesto por los dispositivos que pueden reproducir experiencias de Realidad Virtual (VR), Realidad Aumentada (RA) y Realidad Mixta (MR), existe una distinción esencial en el modo de inmersión que experimenta el usuario de la instalación. Mientras que en el continuo de la virtualidad (Milgram & Kishino, 1994), representado por la VR, la inmersión se logra mediante el aislamiento en un mundo totalmente digital, como es el caso de la primera experiencia de Virtual Maze, en el otro extremo de este continuo encontramos la Realidad Aumentada, donde el componente de inmersión se centra en la inclusión de objetos digitales en el escenario real (Komianos, 2022).

Por último, la Realidad Mixta combina elementos de ambos extremos, proporcionando una experiencia en la que la inmersión proviene no solo de la observación, sino que existe un componente de interacción con un universo digital fusionado con elementos del mundo real (Innocente et al., 2023; Mosadegh et al., 2024). Este componente distintivo, que es la inclusión del objeto digital en la realidad, implica una aproximación diferente al diseñar la instalación en comparación con la versión anterior, que operaba en un entorno completamente digital, es decir, en realidad virtual.

El cambio más significativo comienza con la selección de un dispositivo HMD diferente al utilizado en la instalación Virtual Maze. Este enfoque sigue las mejores prácticas de implementación de tecnologías XR en entornos inmersivos (Komianos, 2022; Mosadegh et al., 2024). En este caso, se elige el Meta Quest 3, que permite generar experiencias tanto en realidad virtual como en realidad mixta. Las mejoras en los sistemas de captura de imagen y seguimiento de las cámaras de este dispositivo, del tipo inside-out, posibilitan disfrutar de experiencias de realidad mixta con un grado de libertad de 6-DOF (seis grados de libertad) (Annabestani et al., 2024). Este concepto se refiere a la capacidad del usuario de desplazarse libremente en todos los ejes del espacio, lo que resulta esencial para una experiencia inmersiva en el recorrido del laberinto.

Esta libertad de movimiento representa el segundo cambio significativo respecto a la instalación anterior. El dispositivo HMD ahora permite operar sin estar conectado físicamente por cable a un PC, lo que incrementa notablemente la sensación de "estar dentro" ("*to be inside*") del laberinto (Averbukh, 2014). Este modo *standalone* conlleva nuevos requisitos técnicos para la creación del nuevo proyecto de Realidad Mixta, ya que la carga del proceso de renderizado de superficies 3D recae en las capacidades gráficas del Meta Quest 3, en lugar de en las propiedades de la tarjeta gráfica de un ordenador.

En el modo standalone, aunque el Meta Quest 3 ofrece mejoras sustanciales respecto a su predecesor, el Meta Quest 2, y al dispositivo utilizado en la instalación original de Virtual Maze, trabajar bajo estas condiciones requiere una optimización gráfica de la instalación.

Teniendo en cuenta las implicaciones de este proceso de optimización, el primer paso para diseñar la nueva instalación es analizar el espacio real donde se ubicará. La propuesta es una versión reducida de la adaptación para VR de la obra de Cruz-Díez, situada en el vestíbulo del edificio de Comunicación de la Universidad Francisco de Vitoria. Dadas las dimensiones de la instalación original y del espacio disponible, la nueva versión ocupa un rectángulo de 12 metros de largo por 4 metros de ancho. Esto reduce los 25 diedros del laberinto original a un laberinto con 16 diedros, ajustándose al espacio real.

El componente de realidad mixta no exige prescindir de todo el escenario virtual que componía la sala de exposición. En términos de optimización, esto resulta ventajoso, ya que el sistema solo necesita renderizar los diedros. Además, se incorpora un objeto suelo donde los diedros encajan, sustituyendo al suelo real para mejorar el aspecto visual y aumentar la sensación de inmersión. La textura del suelo se diseña para asemejarse lo más posible al suelo original, buscando intensificar la sensación de presencia en la instalación.

Una vez definidas las nuevas características físicas de los elementos 3D, se procede a optimizar la instalación, revisando los parámetros críticos de la instalación de VR y añadiendo nuevos elementos, como:

- Nivel de transparencia del material.
- Nivel de reflexión del material.
- Nivel de refracción del material.
- Iluminación de la instalación.

Optimización de sombras y reflejos en el entorno.

Sistema de seguimiento en realidad mixta.

Para desarrollar esta instalación se utiliza el motor de videojuegos Unreal Engine en su versión 5.3, elegida por las mejoras que ofrece para proyectos de realidad mixta. Este enfoque está alineado con las recomendaciones actuales para la optimización de renderizados en entornos XR (Komianos, 2022). Siguiendo la metodología anterior, se emplean materiales PBR (Physically Based Rendering) en el flujo de trabajo (McDermott, 2018).

En una primera aproximación a la instalación con materiales creados para VR, se identificó un problema con el *shader* utilizado en modo standalone en el dispositivo HMD. La transparencia y reflexión perdían realismo, por lo que se optimizaron los shaders de los materiales transparentes, pasando del modelo Thin Translucent al modelo Lit con un modo de fusión Translucent con los siguientes parámetros:

Tabla 5. Transparencia y reflexión para la optimización de los shaders de los materiales transparentes.

Parámetro PBR	Dato
Metallic	0
Specular	0.2
Roughness	0.5
Opacity	0.1
Refraction	1.52

Fuente: Elaboración propia, 2025

Esta optimización reduce los reflejos internos en las superficies de los cristales, pero incrementa significativamente el realismo necesario para el correcto funcionamiento de la instalación en modo standalone. Para compensar la pérdida de reflejos, estos se precálculan y se incorporan a las superficies como parte de su textura.

En cuanto a la iluminación, se diseña un sistema difuso que armonice con las condiciones cambiantes del entorno real, compuesto por luz natural difusa y una fuente de luz artificial puntual desde el techo. La ausencia de luces puntuales evita sombras definidas sobre el suelo digital, iluminando uniformemente los diedros y adaptándose a las condiciones del entorno real. Las sombras y reflejos entre superficies, como los diedros y el suelo, se precálculan y se añaden como texturas para lograr un aspecto visual realista sin afectar el rendimiento del dispositivo.

Finalmente, el desplazamiento del usuario se plantea con libertad 6-DOF, una característica que refuerza la sensación de presencia y realismo en las experiencias XR (Mosadegh et al., 2024). El Meta Quest 3 ofrece un modo de desplazamiento libre que, al ser una aplicación de realidad mixta, permite al usuario visualizar el espacio real a través del HMD, minimizando riesgos de colisiones. Sin embargo, la homogeneidad del entorno de exposición (paredes blancas y superficies de cristal) dificultaba el seguimiento adecuado del sistema de cámaras. Para solucionar esto, se colocaron marcadores no fiduciarios con distintas formas y colores en las paredes, mejorando la capacidad del sistema de ajuste al espacio asignado.

Para futuras fases de la investigación, se plantearon varios aspectos a mejorar: el recorrido debía ser físico, no solo virtual, para permitir una percepción espacial más realista, considerando la posibilidad de que el sistema Oculus 2 facilitara mayor libertad de movimiento. Además, se buscaba que el recorrido fuera interactivo, permitiendo al espectador una inmersión total mediante la percepción de su figura reflejada en los vidrios y la interacción simultánea con otras personas.

Aunque los aspectos relacionados con los materiales, como color, transparencia, reflexión y refracción, estaban adecuadamente logrados en la recreación en VR, se consideraba posible afinar estos detalles. La dualidad de la luz (como partícula y onda) ofrecía una amplia variedad de combinaciones que afectaban a los materiales y debían ser exploradas para lograr un mayor realismo.

Si bien la VR ofrecía una inmersión casi total, permitiendo una comprensión precisa del espacio, su geometría y materialidad, se planteaba el riesgo de que la transformación total del espacio real en el entorno virtual pudiera diluir el verdadero sentido del concepto de Instalación Artística. Por ello, se exploró la posibilidad de incorporar Realidad Expandida, combinando entornos virtuales y reales.

El objetivo final era desarrollar criterios para utilizar VR y Realidad Expandida como herramientas en los procesos creativos de instalaciones artísticas, ampliando las posibilidades de interacción y experimentación en este campo.

3.1. Evaluación del impacto de la realidad mixta en instalaciones artísticas: desarrollo técnico, interacción del usuario y análisis de percepción en entornos XR

Las nuevas configuraciones de Realidad Mixta (MR) aplicadas a instalaciones inmersivas han permitido optimizar la experiencia del usuario al combinar elementos digitales y físicos, superando las limitaciones de los entornos de Realidad Virtual (VR) completamente aislados. La implementación del dispositivo Meta Quest 3, con su capacidad para operar en modo standalone y ofrecer seis grados de libertad (6-DOF), ha mejorado la sensación de presencia y libertad de movimiento en la instalación, reduciendo las restricciones impuestas por sistemas dependientes de ordenadores externos.

En términos de optimización visual y de rendimiento, la adaptación de materiales PBR, la calibración de parámetros ópticos y la precalculación de sombras y reflejos han permitido un equilibrio entre realismo visual y eficiencia computacional en el renderizado. Asimismo, la integración de marcadores no fiduciarios ha mejorado la estabilidad del sistema de seguimiento espacial, mitigando los problemas derivados de la homogeneidad visual del entorno físico.

Desde una perspectiva conceptual, la combinación de VR y MR en la instalación ha abierto nuevas posibilidades para la exploración artística, al mantener un vínculo con el espacio real y potenciar la interacción del usuario con la obra. Se ha identificado que la incorporación de elementos físicos en el recorrido mejora la percepción espacial y refuerza la conexión sensorial del espectador con la instalación.

Finalmente, estos hallazgos sugieren que la integración de tecnologías XR en instalaciones artísticas no solo amplía las posibilidades expresivas del medio, sino que también requiere un enfoque metodológico riguroso en la selección de dispositivos, la optimización de recursos gráficos y la adecuación de los parámetros de interacción. Futuras investigaciones deberán explorar cómo la combinación de VR y MR puede contribuir a una mayor interactividad y personalización de la experiencia inmersiva, consolidando su papel en la evolución de las prácticas artísticas contemporáneas.

El análisis de la encuesta realizada sobre la aplicación de la Realidad Virtual en instalaciones artísticas revela un alto interés y aceptación por parte de los encuestados, quienes en su mayoría son estudiantes de arquitectura y bellas artes, con representación de otras disciplinas como diseño y videojuegos. La mayoría de los participantes se encuentran en los primeros años de sus estudios, lo que sugiere un conocimiento en desarrollo sobre tecnologías XR y su aplicación en el arte. Un porcentaje considerable de los encuestados afirma conocer los conceptos de Realidad Virtual, Aumentada y Mixta, aunque con niveles de familiaridad variables, siendo los videojuegos, la educación y la arquitectura los principales contextos en los que han interactuado con estas tecnologías.

En relación con la aplicación de la Realidad Virtual en la creación artística, se observa que, aunque la mayoría de los encuestados no tiene conocimiento de obras desarrolladas exclusivamente en entornos virtuales, aproximadamente el 85 % considera que esta tecnología es una herramienta válida para la producción artística. Entre las ventajas destacadas se encuentran la libertad creativa que ofrece la experimentación en entornos digitales sin restricciones físicas, la posibilidad de generar experiencias inmersivas imposibles en el mundo real y la expansión del acceso al arte mediante plataformas digitales. Sin embargo, se identifican desafíos técnicos y conceptuales que requieren atención, como la optimización de materiales en entornos virtuales para mejorar el realismo y el rendimiento, la necesidad de equipos adecuados que permitan una experiencia inmersiva sin limitaciones de hardware y las diferencias en la percepción entre la creación artística digital y su materialización en el espacio físico.

Uno de los elementos fundamentales para la continuidad de la investigación fue el análisis de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas durante la Noche Europea de los Investigadores 2024, llevada a cabo en la Universidad Francisco de Vitoria. En este evento se desarrolló una experiencia inmersiva acompañada de una mesa redonda, en la que los participantes fueron sometidos a un proceso evaluativo estructurado en tres fases. Inicialmente, se les administró una encuesta diagnóstica para evaluar su nivel de conocimiento sobre realidad virtual y la recuperación del patrimonio. Posteriormente, se les permitió interactuar con el trabajo desarrollado en la investigación a través de gafas de realidad virtual, explorando una instalación diseñada específicamente para realidad mixta. Al finalizar la experiencia, se aplicó una segunda encuesta orientada a medir tanto la percepción del usuario sobre la inmersión como el grado de aprendizaje adquirido. Finalmente, en la mesa redonda, se

llevó a cabo un debate en torno a las potencialidades del proyecto y sus posibles aplicaciones en diversos ámbitos.

Inicialmente, se llevó a cabo un análisis del perfil del público participante con el objetivo de determinar su composición y características demográficas. Si bien la actividad estaba específicamente orientada a determinados estudiantes universitarios, en el marco de la Noche Europea de los Investigadores, su naturaleza abierta y de libre acceso permitió la participación de un público heterogéneo. Este enfoque respondió a un propósito claramente divulgativo, favoreciendo la interacción entre la comunidad académica y la sociedad en general, con el fin de ampliar el alcance del conocimiento y promover la accesibilidad a experiencias científicas y artísticas innovadoras. función del área de especialización de los encuestados, ya que mientras los estudiantes de arquitectura destacaron su aplicabilidad en la proyección y el diseño de espacios *Site-specific*, los participantes vinculados a disciplinas artísticas subrayaron su potencial para ampliar las posibilidades creativas y fomentar la accesibilidad a obras de difícil acceso. Sin embargo, se observó una división en las opiniones respecto a si una instalación artística completamente virtual puede generar la misma experiencia sensorial que una instalación física

Por ello la encuesta fue aplicada a una muestra compuesta principalmente por estudiantes universitarios de los primeros años de formación en disciplinas creativas, predominantemente arquitectura, bellas artes, diseño y videojuegos, junto con una minoría de profesionales y académicos. Los participantes presentan un nivel variable de familiaridad con las tecnologías XR, con mayor exposición a la Realidad Virtual en contextos de videojuegos, educación y visualización arquitectónica. Su perfil sugiere un interés emergente en la integración de entornos inmersivos en la creación artística, aunque con diferencias en el grado de conocimiento y experiencia en la aplicación de estas tecnologías.

Los resultados de la encuesta inicial sugieren que hay una tendencia positiva en la percepción del uso de la realidad virtual para la preservación de monumentos históricos y la recreación de instalaciones artísticas efímeras, evidenciando que un número significativo de encuestados considera que estas tecnologías representan una herramienta valiosa tanto para la conservación del patrimonio como para la experimentación artística. La mayoría de los participantes, en su mayoría estudiantes de arquitectura, bellas artes y diseño, coincidieron en que la realidad virtual facilita la visualización de estructuras que han desaparecido o se encuentran en estado de deterioro, proporcionando una experiencia inmersiva que permite una comprensión más profunda de los elementos estéticos y espaciales de las obras.

Asimismo, se identificó que la percepción de la utilidad de la realidad virtual varía en, pues, aunque algunos participantes argumentaron que la realidad virtual amplifica la percepción visual y permite mayor flexibilidad conceptual, otros señalaron la ausencia de estímulos táctiles y olfativos como una limitación que podría afectar la autenticidad de la experiencia artística.

En cuanto a la percepción de los colores, la transparencia y los reflejos en los entornos virtuales, los datos muestran que una parte relevante de los encuestados considera que estos elementos son bien representados, aunque se sugiere que aún existen aspectos a mejorar en términos de realismo y fidelidad a la experiencia física. Asimismo, se destacó la importancia de complementar la inmersión visual con otros elementos sensoriales, como la música de fondo, la cual fue mencionada como un factor que mejora significativamente la experiencia inmersiva. A partir de estos hallazgos, se concluye que la realidad virtual es percibida como una herramienta innovadora con un impacto positivo en la preservación del patrimonio y la creación artística, aunque su implementación óptima requiere una evolución tecnológica que permita integrar de manera más efectiva una experiencia multisensorial que se asemeje lo más posible a la realidad física.

Figura 4. Noche Europea de los Investigadores. Exposición/Mesa redonda Virtual Maze 2.0

Fuente: Adrián Fuentes, 2024

Posteriormente a la aplicación de la encuesta inicial y tras la participación en la experiencia de realidad mixta diseñada, los visitantes completaron una segunda evaluación, cuyos resultados se detallan a continuación.

Asimismo, la encuesta sugiere que la mayoría de los participantes considera que el uso de la Realidad Virtual facilita el desarrollo de proyectos artísticos más ambiciosos y de mayor escala. No obstante, algunos indican que la recreación digital total de un espacio podría reducir la conexión con la materialidad del arte, lo que plantea interrogantes sobre la relación entre la virtualidad y la experiencia estética tradicional. Un aspecto relevante identificado es el desconocimiento generalizado del concepto de instalación artística efímera, lo que sugiere la necesidad de una mayor difusión y formación en este ámbito.

Figura 5. Noche Europea de los Investigadores. Instalación inmersiva. Virtual Maze 2.0

Fuente(s): Adrián Fuentes y elaboración propia, 2024

3.2. Conclusiones y análisis comparativo del impacto de la realidad virtual en la percepción y aplicación de tecnologías XR en el arte y la conservación del patrimonio

En conclusión, los resultados de la encuesta reflejan una tendencia favorable hacia la integración de tecnologías XR en la producción artística, especialmente en disciplinas visuales y arquitectónicas, aunque se evidencian retos tanto técnicos como conceptuales. La optimización de gráficos y materiales, el acceso a hardware especializado y la exploración del impacto de la virtualidad en la percepción del espectador son aspectos fundamentales para consolidar la Realidad Virtual como una herramienta viable en la evolución de las instalaciones artísticas. Si bien su aplicación abre nuevas posibilidades expresivas y expande las fronteras del arte contemporáneo, es necesario continuar investigando cómo

la combinación de entornos físicos y digitales puede enriquecer la experiencia estética sin comprometer su significado original.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis comparativo entre ambas encuestas con el objetivo de obtener una evaluación más integral de los datos recopilados. Para ello, se siguió un procedimiento sistemático que incluyó la identificación de variables clave, la estructuración de la información en una tabla comparativa y el análisis cuantitativo de las diferencias observadas entre ambas mediciones.

Figura 6. Comparativa entre resultados de las encuestas llevadas a cabo en la Noche Europea de los Investigadores 2024

Categoría	Encuesta Inicial (%)	Encuesta Final (%)	Diferencia (%)
Conocimiento previo sobre realidad virtual	40	75	35
Percepción de utilidad en conservación patrimonial	55	85	30
Aceptación de la realidad virtual como medio artístico	50	80	30
Valoración de la experiencia inmersiva	45	90	45
Percepción de calidad de color y transparencia	60	88	28
Interés en futuras experiencias de realidad virtual	50	82	32

Fuente: Elaboración propia, 2025

El análisis comparativo de las encuestas realizadas antes y después de la experiencia de realidad mixta permite evaluar la evolución en la percepción de los participantes respecto a la utilidad y efectividad de la realidad virtual en el ámbito del arte y la conservación patrimonial. En relación con el conocimiento previo sobre realidad virtual, antes de la experiencia, el 40% de los participantes indicó tener conocimientos previos sobre esta tecnología; tras la experiencia inmersiva, este porcentaje aumentó significativamente hasta el 75%, reflejando un incremento del 35% en la familiarización con la misma, lo que sugiere que la actividad contribuyó a ampliar el conocimiento y la comprensión del público en relación con sus aplicaciones. Respecto a la percepción de utilidad en conservación patrimonial, inicialmente el 55% de los encuestados consideraba que la realidad virtual podía desempeñar un papel relevante en la conservación del patrimonio histórico y cultural; después de la experiencia, esta percepción aumentó hasta el 85%, lo que representa un incremento del 30%, evidenciando que la interacción directa con la tecnología permitió a los participantes comprender mejor su potencial para la preservación y recreación de espacios históricos.

En lo que concierne a la aceptación de la realidad virtual como medio artístico, antes de la experiencia solo el 50% de los participantes consideraba que esta tecnología era un medio válido para la expresión artística, pero tras la actividad la aceptación aumentó al 80%, mostrando un crecimiento del 30%, lo que indica que la experiencia inmersiva contribuyó a modificar la percepción del arte digital y su potencial como medio innovador para la creación artística. En cuanto a la valoración de la experiencia inmersiva, se observó el mayor incremento, ya que antes de participar el 45% de los encuestados tenía expectativas positivas sobre la calidad y efectividad de la realidad virtual en la generación de experiencias envolventes; después de la experiencia, la valoración ascendió al 90%, con un aumento del 45%, lo que sugiere que la interacción práctica con la tecnología superó las expectativas de los participantes, generando una apreciación más positiva sobre su impacto.

En relación con la percepción de calidad de color y transparencia, la percepción inicial positiva fue del 60% y posteriormente, tras la experiencia, esta cifra aumentó al 88%, con una diferencia del 28%, lo que sugiere que los aspectos visuales de la simulación lograron una representación convincente para la mayoría de los participantes, aunque aún puede haber margen de mejora en la fidelidad y realismo de los elementos gráficos. Finalmente, el interés en participar en futuras experiencias de realidad virtual mostró un incremento significativo, ya que antes de la actividad el 50% de los encuestados manifestó interés en explorar más aplicaciones de esta tecnología y tras la experiencia, el porcentaje ascendió al 82%, reflejando un aumento del 32%, lo que refuerza la idea de que el contacto directo con entornos inmersivos genera un impacto positivo en la percepción y disposición de los participantes hacia el uso de la realidad virtual en distintos ámbitos.

Los resultados obtenidos muestran un aumento significativo en la percepción positiva de la realidad virtual en diversas dimensiones analizadas, evidenciando que la experiencia inmersiva no solo permitió mejorar el conocimiento sobre esta tecnología, sino que también influyó en la valoración de su aplicación en la conservación del patrimonio, la producción artística y la creación de experiencias

envolventes. El mayor cambio se observó en la valoración de la experiencia inmersiva, con un incremento del 45%, lo que sugiere que la interacción directa con la realidad virtual superó las expectativas iniciales, mientras que el interés en futuras aplicaciones de esta tecnología creció en 32%, indicando que la experiencia generó una mayor apertura hacia la exploración de su potencial.

A pesar de estos avances, se identificaron áreas de mejora, particularmente en la percepción de calidad de los elementos visuales como el color y la transparencia, que, aunque tuvieron una evaluación positiva, todavía presentan un margen de optimización. En conclusión, la implementación de la realidad virtual en entornos educativos y artísticos demuestra ser una herramienta efectiva para la difusión y experimentación con nuevas formas de expresión y conservación del patrimonio, lo que sugiere que este tipo de experiencias inmersivas pueden contribuir a una mayor aceptación y comprensión de la tecnología en la sociedad, fomentando su integración en diversos campos de aplicación.

3.3. Enfoque Prospectivo en la Creación Artística con Tecnologías XR: Integración de Realidad Virtual, Aumentada y Mixta en Instalaciones Artísticas Contemporáneas

Tras la finalización de Virtual Maze y Virtual Maze 2.0, y tras verificar la viabilidad de la hipótesis inicial, se propone una continuidad del estudio a partir de un enfoque análogo, aunque orientado principalmente a la creación en lugar de la mera recreación, manteniendo los principios fundamentales establecidos en las fases previas.

La experiencia de inmersión se ve incrementada con la implementación de la realidad mixta (VM2.0) al proponer una superposición del modelo expositivo sobre el espacio real, permitiendo ser recorrible simultáneamente por varios espectadores.

Se abre un camino en el que la inteligencia artificial puede ocupar un lugar determinante en el desarrollo futuro de la calidad de dicha superposición para mejorar la experiencia inmersiva.

El proyecto VAP (Virtual Art Processes (Procesos Artísticos Virtuales) se propone como una iniciativa prospectiva orientada a la incorporación de herramientas avanzadas de Realidad Virtual (VR), Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR) en los procesos creativos de las obras de arte, con un enfoque específico en las Instalaciones Artísticas. La obra de arte, tradicionalmente materializada en soportes físicos, ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde la pintura bidimensional hasta la escultura tridimensional, adaptándose a nuevas formas de expresión.

La emergencia de las instalaciones artísticas como un nuevo género responde a una evolución conceptual en la que los artistas buscan involucrar al espectador dentro del espacio de la obra mediante las variables del espacio y el tiempo. Las tecnologías inmersivas recientes, tales como VR, AR y MR, han permitido un salto cualitativo al transformar la fisicidad de las instalaciones, ofreciendo nuevas dimensiones a las obras. Este cambio implica una actualización en los procesos creativos que las sustentan.

El objetivo principal de VAP es identificar y desarrollar las claves necesarias para crear obras artísticas utilizando estas tecnologías inmersivas, explorando su potencial en el ámbito de las Instalaciones Artísticas. En particular, la Realidad Virtual (VR) ha abierto nuevas posibilidades en la creación de instalaciones efímeras, que pueden permanecer inalteradas en el espacio virtual, a pesar de la naturaleza transitoria de su forma física. El proyecto busca, por tanto, no solo explorar las capacidades técnicas de estas herramientas, sino también replantear los procesos creativos y su aplicación en el arte contemporáneo.

El proceso creativo en instalaciones artísticas que integran tecnologías inmersivas (VR, AR, MR) se distingue por la incorporación de fases adicionales como la inmersión y la sinestesia, las cuales emergen en las fases finales de elaboración y comunicación. La ejecución de estas obras se aleja del enfoque material tradicional, priorizando elementos virtuales, perceptivos e interactivos con el espectador. Este proceso se caracteriza por un dinamismo que combina visión artística, experiencia técnica y trabajo colaborativo para crear una experiencia inmersiva que desafía la percepción y genera respuestas emocionales.

La integración de tecnologías inmersivas amplía las posibilidades creativas al ofrecer nuevas herramientas para expresión, interacción, narración y colaboración, favoreciendo la innovación, la experimentación y la inclusión. Aunque las instalaciones VR comparten procesos conceptuales similares con las instalaciones tradicionales, como el desarrollo temático y la participación del público, difieren

en términos de diseño espacial, interactividad, narración y simulación. La incorporación de VR transforma la creación artística al permitir una mayor libertad creativa, subrayando la interactividad, la personalización y la accesibilidad.

Este nuevo enfoque, que resalta la inmersión sensorial y la interacción con el espectador, redefine la concepción de la obra artística, alineándose con un concepto de obra inmersiva que remonta sus raíces al Renacimiento, cuando la perspectiva rompió la bidimensionalidad. La investigación busca profundizar en la convergencia de las instalaciones artísticas y la realidad virtual, explorando los nuevos procesos creativos que emergen en esta intersección.

4. Agradecimientos

El presente texto nace en el marco del proyecto VIRTUAL MAZE 2.0 “Realidad Virtual y Extendida en el proceso creativo de las instalaciones Artísticas inspiradas en el Mito del Laberinto”, financiado por el Vicerrectorado de Investigación y Posgrado dentro del Programa de fomento y desarrollo de la Investigación. Universidad Francisco de Vitoria.

El proyecto se ha realizado en colaboración con María João Durão, directora del Laboratorio de Color (LabCor) y del Grupo de Investigación de Color y Luz del CIAUD de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Lisboa.

Referencias

- Adobe. (2021). Adobe Substance Painter 3D [Computer software]. Adobe Inc.
- Annabestani, M., Sriram, S., Wong, S. C., Sigaras, A., & Mosadegh, B. (2024). Advanced XR-Based 6-DOF Catheter Tracking System for Immersive Cardiac Intervention Training (arXiv:2411.02611). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.02611>
- Austin, J. H. (1978). *Chase, chance and creativity*. Columbia University Press.
- Averbukh, N. (2014). Subjective-Situational Study of Presence. In R. Shumaker & S. Lackey (Eds.), *Virtual, augmented and mixed reality: Designing and developing virtual and augmented environments* (pp. 131–138). *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07458-0_13
- Burdea, G., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. Wiley Press.
- Cabañas, P. (2020). Una mirada global al arte inmersivo de teamLab. *Imafronte*, 27, 1-27. <https://doi.org/10.6018/imafronte.429171>
- Chen, M. Z. (2023). *Relational experience design for immersive narratives* (Tesis doctoral). University of California, Santa Barbara.
- Clay, J. (1969). *Cruz-Díez et les trois étapes de la couleur moderne*. Galerie Denise René.
- Cruz-Díez, C. (2009). *Reflexión sobre el color*. Fundación Juan March.
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creatividad, el flujo y la psicología del descubrimiento y la invención*. Paidós.
- Csikszentmihalyi, M. (2007). *Fuir (flow): Una psicología de la felicidad*. Editorial Kairos.
- Eliasson, O. (2012). *Experience*. Phaidon.
- Epic Games. (2021). Unreal Engine [Computer software]. Epic Games.
- Graham, D. (1978). *Video-architecture-television*. The Press of the Nova Scotia College of Art & Design / New York University Press.
- Graham, D. (1992). *Ma position-Écrits sur mes oeuvres*. Les presses du réel.
- Grau, O. (2002). *Virtual arte: From illusion to immersion*. The MIT Press.
- Hsiang, E.-L., Yang, Z., Zhan, T., Zou, J., Akimoto, H., & Wu, S.-T. (2021). Optimizing the display performance for virtual reality systems. *OSA Continuum*, 4(12), 3052–3067. <https://doi.org/10.1364/OSAC.441739>
- Innocente, C., Ulrich, L., Moos, S., & Vezzetti, E. (2023). A framework study on the use of immersive XR technologies in the cultural heritage domain. *Journal of Cultural Heritage*, 62, 268–283. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.001>
- Kadner, N. (2019). *The virtual production field guide*. Epic Games.
- Komianos, V. (2022). Immersive applications in museums: An analysis of the use of XR technologies and the provided functionality based on systematic literature review. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 6(1), 60–73. <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1.708>
- Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27–50.
- Machon, J. (2013). *Immersive theatres: Intimacy and immediacy in contemporary performance*. Macmillan International Higher Education.
- Maderuelo, J. (1990). *El espacio raptado: Interferencias entre arquitectura y escultura*. Mondadori España.
- Mari-Altozano, M., & Sedeño-Valdelós, A. (2024). Arte audiovisual inmersivo: Antecedentes y líneas futuras. Fonseca, *Journal of Communication*, 28, 250–266. <https://doi.org/10.48047/fjc.28.01.18>
- McDermott, W. (2018). *The PBR guide*. <https://substance3d.adobe.com/tutorials/courses/the-pbr-guide-part-1>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mosadegh, B., Annabestani, M., Sri, S., Caprio, A., Janghorbani, S., Wong, S. C., & Sigaras, A. (2024). High-fidelity pose estimation for real-time extended reality (XR) visualization for cardiac catheterization. *Research Square* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4645065/v1>

- Pesqueira Calvo, C., & Ramos Fabra, L. (2023). *El espacio virtual del laberinto en las instalaciones artísticas*. ESIC Editorial.
- Pharr, M., Jakob, W., & Humphreys, G. (2016). *Physically based rendering: From theory to implementation* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Ramos Fabra, L., & Pesqueira Calvo, C. (2021). Realidad extendida en las instalaciones artísticas. Revisión del mito de la caverna. In D. Caldevilla Domínguez, A. M. Botella Nicolás, & S. Martínez Martínez (Eds.), *Nuevas tendencias en la comunicación digital* (pp. 433-448). Editorial Fragua.
- Ramos Fabra, L., & Pesqueira Calvo, C. (2023). *Realidad virtual: La recuperación de instalaciones artísticas a través VR, ER y AR*. Editorial Peter Lang.
- Riera, J. (2012). *Entrevista con Santiago Olmo*. Javier Riera. Textos. <http://javierriera.com/textos/entrevista-con-santiago-olmo/>
- Rolland, J., Baillet, Y., & Goon, A. (2001). A survey of tracking technology for virtual environments. In J. P. Rolland, L. D. Davis, & Y. Baillet (Eds.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (Cap. 4). CRC Press.
- Romo, M. (1997). *Psicología de la creatividad*. Paidós.
- Rost, R. J. (2004). *OpenGL shading language*. Addison-Wesley. <http://archive.org/details/openglshadingla00rand>
- Slater, M. (2007). *The concept of presence and its measurement*. Peach Summer School, Santorini.
- Simó, A. (2019). La realidad virtual en la creación artística: Conceptos, tecnologías, trayectoria y actualidad. *Arte y Políticas de Identidad*, 20. <https://doi.org/10.6018/reapi.389521>
- Turrell, J. (1993). *Catálogo exposición*. Fundación La Caixa.
- Vallespín, A. (2003). *El espacio arquitectónico apprehendido desde la obra de Mark Rothko* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.289>
- Villagómez-Oviedo, C. P. (2019). El proceso de creación del arte digital. *ArDin, Arte, Diseño e Ingeniería*, 8, 16-36. <https://doi.org/10.20868/ardin.2019.8.3866>