

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DOCTORADO EN DISEÑO, PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

TESIS DOCTORAL

Estudio y mejora de aplicaciones de realidad virtual,
mediante técnicas de diseño.
Evolución hacia la Industria 5.0

Autor:

Vicente Jover Peris

Dirigida por:

Dr. Silvia Sempere Ripoll

Dr. Santiago Ferrándiz Bou

Fecha de presentación

Octubre de 2025

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DOCTORADO EN DISEÑO, PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

TESIS DOCTORAL

Estudio y mejora de aplicaciones de realidad virtual,
mediante técnicas de diseño.
Evolución hacia la Industria 5.0

Vicente Jover Peris



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Dra. Silvia Sempere Ripoll, licenciada y doctora en Bellas Artes, Titular de Universidad del Departamento de Dibujo de la Universidad Politécnica de Valencia, en calidad de directora de la Tesis Doctoral presentada por Vicente Jover Peris, con el título “Estudio y mejora de aplicaciones de Realidad Virtual, mediante técnicas de diseño. Evolución hacia la industria 5.0”.

CERTIFICA

Que la presente memoria, “Estudio y mejora de aplicaciones de Realidad Virtual, mediante técnicas de diseño. Evolución hacia la industria 5.0”, para aspirar al grado de Doctor por la Universitat Politècnica de València corresponde al trabajo de investigación realizado por el doctorando Vicente Jover Peris y reúne las condiciones adecuadas para ser una tesis doctoral completa.

Asimismo, certifica que la citada tesis doctoral se ha realizado en el campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Alcoy a 15 de junio de 2025.

Fdo. Silva Sempere Ripoll

Dr. Santiago Ferrándiz Bou, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia en calidad de director de la Tesis Doctoral presentada por Vicente Jover Peris, con el título “, con el título “Estudio y mejora de aplicaciones de Realidad Virtual, mediante técnicas de diseño. Evolución hacia la industria 5.0”.

CERTIFICA

Que la presente memoria, “Estudio y mejora de aplicaciones de Realidad Virtual, mediante técnicas de diseño. Evolución hacia la industria 5.0”, para aspirar al grado de Doctor por la Universitat Politècnica de València constituye la tesis doctoral de Vicente Jover Peris reúne las condiciones adecuadas para constituir su tesis doctoral.

Asimismo, certifica que la citada tesis doctoral se ha realizado en el campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Alcoy a 15 de julio de 2025.

Fdo. Santiago Ferrándiz Bou

“Sentirse verdaderamente presente con otra persona es el sueño supremo de la tecnología social. Es por eso que estamos enfocados en construir esto. En el metaverso podrás hacer casi cualquier cosa que puedas imaginar”

Mark Zuckerberg

A mi amor Nuria, por toda su paciencia, apoyo a lo largo de los años. A mi madre y hermano porque siempre están ahí para apoyarme en cualquier tema de mi vida. Y a Render, por pasar tantos ratos juntos.

Agradecimientos

A mi directora Silvia Sempere, por su conocimiento, consejos y apoyo en la realización de la tesis, participación en congresos y soporte en general y su siempre abierta disposición en responder cualquier inquietud que se me presentaba.

A mi director, Santiago Ferrándiz por su acertada dirección, conocimiento, disponibilidad y don de gente que me permitieron llevar de mejor manera todos los aspectos e inconvenientes que se presentaron a lo largo de estos 3 años.

A mi familia por su apoyo y comprensión durante estos 3 años.

A todos, muchas gracias.

“ESTUDIO Y MEJORA DE APLICACIONES DE REALIDAD VIRTUAL, MEDIANTE TÉCNICAS DE DISEÑO. EVOLUCIÓN HACIA LA INDUSTRIA 5.0”

Resumen

La presente tesis doctoral se centra en el estudio y aplicación de tecnologías inmersivas emergentes —específicamente, la Realidad Virtual (RV), el Metaverso (MV) y los Gemelos Digitales (GD)—, y su mejora mediante técnicas de diseño, en el marco de la transición hacia la Industria 5.0. Esta nueva etapa industrial se caracteriza por su enfoque antropocéntrico, la integración avanzada de inteligencia artificial y tecnologías interactivas, y su compromiso con la sostenibilidad, la personalización y la colaboración estrecha entre humanos y máquinas. A partir de una metodología basada en estudios de caso experimentales, simulaciones tridimensionales y entornos virtuales interactivos, se han abordado cuatro hipótesis principales relacionadas con la mejora de la UX, la eficiencia logística, la democratización del acceso a contenidos culturales, y la viabilidad de la virtualización en espacios expositivos y feriales.

Entre los principales hallazgos, se confirma que la incorporación de técnicas de diseño centradas en el usuario potencia de forma significativa la navegabilidad, la inmersión y la interacción dentro de espacios virtuales. En particular, se valida que los principios del diseño tradicional, adaptados a entornos virtuales, mantienen su vigencia y se complementan con estrategias propias del diseño UX y del diseño de videojuegos. Asimismo, se demuestra que los espacios museísticos pueden ser transformados mediante el uso del MV y los GD, facilitando la accesibilidad universal, eliminando barreras físicas y permitiendo nuevas formas de participación cultural. Esta innovación contribuye también a redefinir la relación espaciotemporal entre el usuario y la obra, otorgando protagonismo a la interactividad y la experiencia sensorial.

En el ámbito industrial y comercial, los experimentos con stands virtuales en ferias del sector textil evidencian el impacto positivo de estas tecnologías en la reducción de costes de montaje, transporte y fabricación. La implementación del Spatial Creator Toolkit v1.60 ha permitido recrear entornos tridimensionales fieles al diseño físico original, a la vez que se ha potenciado la experiencia del usuario mediante simulaciones de materiales textiles. Estos resultados refuerzan la aplicabilidad de la RV y los GD como herramientas clave para impulsar una producción más eficiente y sostenible, en línea con los principios de la Industria 5.0.

Asimismo, se ha identificado el valor potencial de estas tecnologías para la celebración de eventos virtuales como pueden ser los actos conmemorativos, aportando nuevas formas de interacción social TALES COMO el recuerdo colectivo y la visualización de representaciones simbólicas asociadas en el entorno inmersivo diseñado para ello. En todos los escenarios evaluados, se destaca la progresiva integración de métricas más objetivas, como el eye-tracking, la codificación facial (FACS) y el seguimiento háptico, como métodos de evaluación emocional más precisos que comienzan a relegar, a un segundo plano, al os cuestionarios de autoinforme de carácter subjetivo, empleados hasta el momento.

Finalmente, esta investigación representa un cambio de paradigma conceptual en cuanto a la presentación de un producto o transmisión de conocimientos, por lo que no solo aporta resultados concretos en la ampliación de la experiencia dentro de los museos o instituciones culturales, o potencia la comunicación en el caso de eventos y/o ferias industriales, sino que también requiere de un soporte tecnológico concreto y un nuevo marco metodológico a aplicar en sectores que requieren de la exposición de sus productos y que pueden abarcar desde el diseño de mobiliario al de el de la cerámica, hasta la formación técnica profesional.

La tesis concluye que la convergencia entre tecnología inmersiva, diseño y UX es fundamental para consolidar entornos digitales sostenibles, inclusivos y emocionalmente enriquecedores, donde los límites entre lo físico y lo no físico-virtual se disuelve en favor de un nuevo paradigma relacional que afecta al ámbito de la producción industrial, al de la cultura y sus procesos de aprendizaje, en definitiva, afecta al comportamiento del ser humano con su entorno en términos generales.

“ESTUDI I MILLORA D’APLICACIONS DE REALITAT VIRTUAL, MITJANÇANT TÈCNIQUES DE DISSENY. EVOLUCIÓ CAP A LA INDÚSTRIA 5.0”

Resum

ESTUDI I MILLORA D’APLICACIONS DE REALITAT VIRTUAL, MITJANÇANT TÈCNIQUES DE DISSENY. EVOLUCIÓ CAP A LA INDÚSTRIA 5.0

Resum

La present tesi doctoral se centra en l’estudi i aplicació de tecnologies immersives emergents — específicament, la Realitat Virtual (RV), el Metavers (MV) i els Bessons Digitals (BD)—, i la seua millora mitjançant tècniques de disseny, en el marc de la transició cap a la Indústria 5.0. Aquesta nova etapa industrial es caracteritza pel seu enfocament antropocèntric, la integració avançada d’intel·ligència artificial i tecnologies interactives, i el seu compromís amb la sostenibilitat, la personalització i la col·laboració estreta entre humans i màquines. A partir d’una metodologia basada en estudis de cas experimentals, simulacions tridimensionals i entorns virtuals interactius, s’han abordat quatre hipòtesis principals relacionades amb la millora de l’experiència d’usuari (UX), l’eficiència logística, la democratització de l’accés als continguts culturals, i la viabilitat de la virtualització en espais expositius i firals.

Entre les principals troballes, es confirma que la incorporació de tècniques de disseny centrades en l’usuari potencia de manera significativa la navegabilitat, la immersió i la interacció dins d’espais virtuals. En particular, es valida que els principis del disseny tradicional, adaptats a entorns virtuals, mantenen la seua vigència i es complementen amb estratègies pròpies del disseny UX i del disseny de videojocs. Així mateix, es demostra que els espais museístics poden ser transformats mitjançant l’ús del MV i els BD, facilitant l’accessibilitat universal, eliminant barreres físiques i permetent noves formes de participació cultural. Aquesta innovació contribueix també a redefinir la relació espai-temps entre l’usuari i l’obra, atorgant protagonisme a la interactivitat i l’experiència sensorial.

En l’àmbit industrial i comercial, els experiments amb estands virtuals en fires del sector tèxtil evidencien l’impacte positiu d’aquestes tecnologies en la reducció de costos de muntatge, transport i fabricació. La implementació del Spatial Creator Toolkit v1.60 ha permés recrear entorns tridimensionals fidels al disseny físic original, alhora que s’ha potenciat l’experiència de l’usuari mitjançant simulacions de materials tèxtils. Aquests resultats reforcen l’aplicabilitat de la RV i els BD com a eines clau per a impulsar una producció més eficient i sostenible, en línia amb els principis de la Indústria 5.0.

Així mateix, s’ha identificat el valor potencial d’aquestes tecnologies per a la celebració d’esdeveniments virtuals com poden ser els actes commemoratius, aportant noves formes d’interacció social com ara el record col·lectiu i la visualització de representacions simbòliques associades en l’entorn immersiu dissenyat per a això. En tots els escenaris avaluats, es destaca la progressiva integració de mètriques més objectives, com el eye-tracking, la codificació facial (FACS) i el seguiment hàptic, com a mètodes d’avaluació emocional més precisos que comencen a relegar a un segon pla els qüestionaris d’autoinforme de caràcter subjectiu, emprats fins ara.

Finalment, aquesta investigació representa un canvi de paradigma conceptual pel que fa a la presentació d'un producte o la transmissió de coneixements, i per tant no sols aporta resultats concrets en l'ampliació de l'experiència dins dels museus o institucions culturals, o potencia la comunicació en el cas d'esdeveniments i/o fires industrials, sinó que també requereix un suport tecnològic concret i un nou marc metodològic a aplicar en sectors que necessiten l'exposició dels seus productes i que poden abastar des del disseny de mobiliari al de la ceràmica, fins a la formació tècnica professional.

La tesi conclou que la convergència entre tecnologia immersiva, disseny i UX és fonamental per a consolidar entorns digitals sostenibles, inclusivament i emocionalment enriquidors, on els límits entre allò físic i allò no físic-virtual es dissolen a favor d'un nou paradigma relacional que afecta l'àmbit de la producció industrial, el de la cultura i els seus processos d'aprenentatge; en definitiva, afecta el comportament de l'ésser humà amb el seu entorn en termes generals.

**“STUDY AND IMPROVEMENT OF VIRTUAL REALITY APPLICATIONS THROUGH DESIGN
TECHNIQUES. EVOLUTION TOWARDS INDUSTRY 5.0”**

Abstract

This doctoral dissertation focuses on the study and application of emerging immersive technologies—specifically, Virtual Reality (VR), the Metaverse (MV), and Digital Twins (DT)—and their enhancement through design techniques within the framework of the transition toward Industry 5.0. This new industrial paradigm is characterized by its human-centered approach, advanced integration of artificial intelligence and interactive technologies, and its commitment to sustainability, personalization, and close collaboration between humans and machines. Using a methodology based on experimental case studies, three-dimensional simulations, and interactive virtual environments, four main hypotheses have been addressed concerning the improvement of user experience (UX), logistics efficiency, democratization of access to cultural content, and the viability of virtualization in exhibition and trade fair spaces.

Among the main findings, it is confirmed that incorporating user-centered design techniques significantly enhances navigability, immersion, and interaction within virtual environments. In particular, it is validated that the principles of traditional design, when adapted to virtual environments, remain relevant and are complemented by strategies derived from UX design and video game design. Furthermore, it is demonstrated that museum spaces can be transformed through the use of the MV and DT, facilitating universal accessibility, eliminating physical barriers, and enabling new forms of cultural participation. This innovation also contributes to redefining the spatiotemporal relationship between the user and the work, emphasizing interactivity and sensory experience.

In the industrial and commercial domains, experiments with virtual booths at textile industry trade fairs demonstrate the positive impact of these technologies in reducing assembly, transport, and manufacturing costs. The implementation of the Spatial Creator Toolkit v1.60 enabled the faithful recreation of three-dimensional environments based on original physical designs while enhancing the user experience through textile material simulations. These results reinforce the applicability of VR and DT as key tools for promoting more efficient and sustainable production, aligned with the principles of Industry 5.0.

Additionally, the potential value of these technologies for hosting virtual events—such as commemorative ceremonies—has been identified, offering new forms of social interaction such as collective memory and the visualization of symbolic representations within purpose-designed immersive environments. Across all evaluated scenarios, the progressive integration of more objective metrics—such as eye-tracking, facial coding (FACS), and haptic tracking—is highlighted as more precise methods for assessing emotional responses, gradually relegating subjective self-report questionnaires traditionally used.

Finally, this research represents a conceptual paradigm shift in the presentation of products and the transmission of knowledge. It not only provides concrete results in expanding the user experience within museums or cultural institutions, or enhancing communication in industrial events and trade fairs, but also calls for specific technological support and a new methodological framework to be applied in sectors requiring product exhibition, ranging from furniture design and ceramics to technical and vocational training.

The thesis concludes that the convergence of immersive technology, design, and UX is essential for consolidating sustainable, inclusive, and emotionally enriching digital environments, where the boundaries between the physical and the non-physical (virtual) dissolve in favor of a new relational paradigm—impacting industrial production, cultural processes, and human behavior in relation to their environment at large.

Publicaciones relacionadas

Esta sección presenta los trabajos que se han publicado en revistas o congresos en relación con los resultados obtenidos durante esta investigación doctoral.

Artículos de revistas

Jover Peris, V., Sempere Ripoll, S., & Ferrándiz Bou, S. (2024). Basic Aspects of Digital Interior Design Used in Virtual Reality and Its Adaptation to the Metaverse. *Biomimetic CASE. Advances in design Engineering IV*, Springer, 56, 66 https://doi.org/10.1007/978-3-031-51623-8_6

Jover Peris, V., & Sempere Ripoll, S. (2024). Hibridación del Metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura. *Diferents. Revista De Museus*, (9), 132–147. <https://doi.org/10.6035/diferents.8194>

Jover, V.; Sempere, S.; Ferrándiz, S. The Creation of Virtual Stands in the Metaverse: Applications for the Textile Sector. *Electronics* 2025, 14, 359. <https://doi.org/10.3390/electronics14020359>

Jover, V.; Sempere, S. Creating Digital Twins to Celebrate Commemorative Events in the Metaverse. *Computers* 2025, 14, 273. <https://doi.org/10.3390/computers14070273>

Jover Peris, V, Gámez, J.L., Ferrándiz Bou, S. Application of digital twins in the Metaverse for training in plastic injection., 20 July 2025, PREPRINT (Version 1) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7088695/v1>

Artículos en congresos

Jover Peris, V; (2022). Aspectos básicos de diseño digital de interiores empleados en la Realidad Virtual. En IX Congreso I+D+i Campus de Alcoi. Creando sinergias. Alcoy, España: Compobell, S.L.. <https://www.congresocreandosinergias.com/libros/X%20Congreso%20Sinergias%202023.pdf>

Jover Peris, V; Gámez, J.L.; Ferrándiz Bou, S. (2025) Application of digital twins in the Metaverse for training in plastic injection. [XI MANUFACTURING ENGINEERING SOCIETY INTERNATIONAL CONFERENCE \(MESIC 2025\). Page 9.](#)

Jover Peris, V; Sempere Ripoll, S; (2025). Entornos tridimensionales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso. Los gemelos digitales. En XII Congreso I+D+i Campus de Alcoi. Creando sinergias. Alcoy, España: Compobell, S.L..

Jover Peris, V; Gámez Martínez, J.L.; (2025). Aplicación de gemelos digitales en el Metaverso, para la formación en inyección de plásticos. En XII Congreso I+D+i Campus de Alcoi. Creando sinergias. Alcoy, España: Compobell, S.L..

Tabla de contenidos

1. Introducción y objetivos	24
1.1 Contexto y motivación.....	24
1.2. Objetivos de Investigación y Alcance	25
1.3. Contribución al Conocimiento.....	28
1.4. Metodología de Investigación	28
1.5. Estructura de la tesis	30
2. Aspectos básicos de diseño de interiores empleados en la Realidad Virtual y su adaptación al Metaverso. (CASO Biomimetic).	32
2.1 Introducción	32
2.2 Aproximaciones: desde la Realidad Virtual al Metaverso.	33
2.2 De la Realidad Virtual al Metaverso. Caso Práctico en Biomimetic.....	39
2.3. Conclusiones.....	44
3. Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura.....	45
3.1. Introducción	45
3.2. Hibridaciones tecnológicas en los museos.....	46
3.3. Primeras experiencias del metaverso en los museos.....	47
3.4. Metodología de elaboración.	51
3.5. Aplicaciones colectivas de Spatial.io	55
3.6. Conclusión	57
4. Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil.....	58
4.1. Introducción	58
4.2 Materiales y métodos.....	63
4.2.1. Metodología para el Diseño de Stands Textiles Virtuales.	63
4.2.2. Modelado, texturización y animación del gemelo digital.	64
4.2.3. Modelado, texturización y animación del rediseño.	65
4.2.4. Optimización de modelos y materiales con Unity. Creación de interacciones y animaciones.	69
4.2.5. SPATIAL.IO. Inserción de Material Multimedia.....	74
4.2.6. Diseño de la Investigación	75
4.2.7. Análisis de Datos	75
4.3. Resultados	77
4.4. Discusión	80
4.5. Conclusiones.....	83

5. Aplicación de gemelos digitales en el Metaverso, para la formación en inyección de plásticos.....	85
5.1. Introducción.....	85
5.2. Materiales y métodos	86
5.2.1. Metodología para el diseño de gemelos digitales.....	86
5.2.2. Modelado, texturizado e interacciones con el gemelo digital.	87
5.2.3. Insertion multimedia on SPATIAL.IO.....	88
5.2.4. Diseño de investigación.....	89
5.2.5. Análisis de datos.....	89
5.3.- Resultados y discusión.....	90
5.4.- Conclusiones.....	93
6. El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso.....	94
6.1. Introducción.	94
6.2. Materiales y métodos.....	101
6.2.1. Metodología de diseño de gemelos digitales en el metaverso para eventos.	101
6.2.2. Modelado, texturización y animación del gemelo digital.	103
6.2.3. Modelado, texturización y animación del rediseño.	105
6.2.4. Optimización de modelos y materiales con Unity. Creación de interacciones y animaciones.	109
6.2.5. Spatial.io. Inserción de material multimedia.	112
6.2.6. Diseño de investigación.....	115
6.2.7. Análisis de datos.....	116
6.3. Resultados.	118
6.4. Discusión.	122
6.5. Conclusiones.....	124
7.- Discusión general.	126
8.- Conclusiones.....	128
8.1. Limitaciones.....	129
8.2. Investigaciones futuras.....	131
Referencias	133

Lista de figuras

Fig. II-1: Detalle del interior de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.	33
Fig. II-2: Detalle de los atriles de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.	33
Fig. II-3: Detalle de las gafas de realidad virtual Oculus Quest 2 de Meta(Facebook).	35
Fig. II-4: Detalle de uno de los atriles del showroom virtual de Biomimetic.	36
Fig. II-5: Atril descriptivos de los ingredientes activos Yalic.	36
Fig. II-6: Montaje 3D explicativo de la penetración de Yalic en la piel.	36
Fig. II-7: Paneles descriptivos que acompañan a los atriles.	37
Fig. II-8: Recreación 3D del interior de la epidermis.	37
Fig. II-9: Exterior de la piel. Diseño de los atriles que definen cada uno de los tratamientos. ...	38
Fig. II-10: Resumen de los tratamientos, aplicados sobre un rostro humano.....	38
Fig. II-11: Visión general del stand de metaverso de Biomimetic.	40
Fig. II-12: Detalle de la simplificación de los atriles.....	41
Fig. II-13: Vista del espacio de reuniones y formación.....	41
Fig. II-14: Detalle de la esquematización del atril 5 de Realidad Virtual.	42
Fig. II-15: Resultado final del rediseño del atril 4.	42
Fig. II-16: Resultado final del rediseño del atril 3 integrado con el área de Formación.	43
Fig. II-17: Vista del auditorio del stand de Biomimetic.....	43
Fig. III-1 Ilustración realizada por León Laverda con Gravity Sketch. Fotografía: León Laverda..	50
Fig. III-2 Interior de una sala de un museo realizado para Spatial.io. Fotografía: Vicente Jover.	50
Fig. III-3 Ejemplos de fotografías utilizadas para el modelado 3D. Fotografía: Google Maps.	52
Fig. III-4 Ejemplo final del modelado poligonal de Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.	53
Fig. III-5. Texturas retocadas para ser aplicadas en los modelos 3D.	53
Fig. III-6. Cartel anunciador como mapa de ubicación del museo.	54
Fig. III-7. Vista exterior del modelado 3D del museo Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.....	54
Fig. III-8. Vista exterior del modelado 3D del museo Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.....	55
Fig. III-9. Vista Interior del museo 3D de Igor Isaacovitch. Entrada. Fotografía: Vicente Jover. ..	56
Fig. III-10. Museo Virtual de Igor Isaacovitch. Escaleras flotantes. Fotografía: Vicente Jover.	56
Fig. IV-1. Detalle del juego Fornite y su skin de Samsung.	61
Fig. IV-2. Los esquemas de las metodologías seguidas para los casos 1 y 2.	64
Fig. IV-3. La vista isométrica y el plano del modelo 3D del stand físico.	65
Fig. IV-5. Detalles de la puerta diseñada, con el principio de Sencillez, aplicado a las puertas. .	66
Fig. IV-6. Los principios de Jerarquía y Simetría, aplicados en la composición de elementos. ...	67
Fig. IV-7. Principio de Claridad aplicado.	67
Fig. IV-8. El principio de Simetría aplicado al suelo.	67
Fig. IV-9. La apariencia final del stand rediseñado.	68
Fig. IV-10. El mueble 3D aplicado al stand virtual.	68
Fig. IV-11. Los detalles del carrusel diseñado para cambiar las texturas del mueble.	69
Fig. IV-12. Menú de carpetas de Unity y jerarquía de carpetas de la plantilla.....	70
Fig. IV-13. El menú de selección de texturas y detalles para el Viewport.	70
Fig. IV-14. Los detalles de los botones programados y el botón Cerrar.	70
Fig. IV-15. Los detalles del componente de texto.	71
Fig. IV-16. Los detalles de las esferas y el menú Interactable. Las flechas de colores indican los ejes de coordenadas de la esfera siguiendo el esquema de colores RGB, rojo para el eje X, verde para el eje Y y azul para el eje Z.	71
Fig. IV-17. Editando cada botón para asignarlo a su textura correspondiente.	71

Fig. IV-18. Los detalles del componente de texto.	72
Fig. IV-19. En el panel de propiedades, definimos el nombre de la textura para que se aplique al carrusel.	72
Fig. IV-20. Detalles sobre cómo definir los íconos de textura.	72
Fig. IV-21. Los detalles de los componentes Int_Open e Int_Close.	73
Fig. IV-22. Detalles sobre cómo definir correctamente el fondo del carrusel.	74
Fig. IV-23. Detalles del Marco Vacío de Spatial.io, para definir contenido multimedia.	75
Fig. IV-24. Una tabla con los problemas del SUS.	77
Fig. IV-25. La ecuación que define el sistema SUS.	77
Fig. IV-26. Una imagen de una de las parejas que realizaron las pruebas en los casos 1 y 2.	77
Fig. IV-27. Capturas de pantalla de la aplicación MV, para el caso 1.	78
Fig. IV-28. Capturas de pantalla de la aplicación MV, para el caso 2.	78
Fig. IV-29. En estos gráficos, podemos observar los resultados del cuestionario IPQ para el caso del gemelo digital y el rediseño. Los datos obtenidos (puntos rojos), la media (barras azules) y la desviación estándar (líneas verticales negras).	79
Fig. IV-30. En estos gráficos, podemos observar los resultados de las subescalas del IPQ para el caso del gemelo digital y el rediseño. Los datos obtenidos (puntos rojos), la media (barras azules) y la desviación estándar (líneas verticales negras).	79
Fig. IV-31. Los resultados del SUS obtenidos para ambos casos. Los puntos rojos muestran los datos obtenidos, las barras azules la media y las líneas verticales la desviación estándar.	80
Fig. IV-32. Los detalles del cuestionario distribuido después de la experiencia inmersiva.	81
Fig. IV-33. Los detalles del menú de control integrado, para facilitar la navegación.	82
Fig. IV-34. Los detalles del menú flotante incorporado, para entender mejor el funcionamiento del carrusel.	82
Fig. IV-35. Mark Zuckerberg presentando las nuevas gafas de Meta, las Orion.	83
Fig. V-1. Imágenes ejemplo de los mensajes que aparecen tras pulsar el botón máquina.	87
Fig. V-2. Comparativa entre el modelo real de la inyectora y el modelo 3d creado.	87
Fig. V-3. Descripción del proceso de creación de la aplicación inmersiva.	88
Fig. V-4. Rediseño de las pantallas de selección de pieza y material.	88
Fig. V-5. Rediseño de las pantallas de selección de temperaturas y periféricos en el área de calefacción.	88
Fig. V-6. Captura de varios usuarios utilizando la app al mismo tiempo online y detalle de la primera pantalla de configuración.	89
Fig. V-7. Detalle de una pareja de alumnas que realizó el test de la aplicación.	90
Fig. V-8. Listado de las preguntas del cuestionario realizado a los alumnos.	90
Fig. V-9. Resultados obtenidos en el test SUS.	91
Fig. V-10. Listado de las preguntas del cuestionario realizado a los alumnos.	91
Fig. V-12. Detalle de los carteles introducidos, para ayudar al usuario a mejorar su navegabilidad.	92
Figura VI-1: Ingenieros de BMW testeando su gemelo digital en Regensburg (Alemania).	96
Figura VI-2: Cartel anunciador del concierto de Lil Nas X en Roblox.	98
Figura VI-3: Detalle de la metodología empleada para crear el gemelo digital del Campus de Alcoy.	102
Figura VI-4: Detalle del evento de celebración del 50 aniversario de la incorporación de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Alcoy a la Universitat Politècnica de València.	103
Figura VI-5: Diseño de logotipo: versión en b/n: negativo, positivo. Versión a color.	103

Figura VI-6: Secuencia de la transformación del logotipo a partir del escudo de la UPV.....	104
Figura VI-7: Instalación de estructuras mediante plataformas elevadoras. Plaza del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València.	104
Figura VI-8: Iluminación de elementos gráficos. Plaza del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València.	105
Figura VI-9: Detalle de la integración del fotomontaje de la fachada, con los planos de planta del cad.	105
Figura VI-10: Resultado del modelado 3d del edificio de Ferrándiz.....	106
Figura VI-11: Ejemplos de las fotografías tomadas a los elementos decorativos de la plaza. ..	106
Figura VI-12: Resultado del modelado del Edificio de Carbonell, junto con los elementos decorativos.	107
Figura VI-13: Detalle de las imágenes recortadas para poder texturizar los modelos 3D.....	108
Figura VI-14: Esquema de mapas y materiales utilizados: Standard (Legacy) y Multi/Sub-Object.	108
Figura VI-15: Vista final del modelado de parte del conjunto arquitectónico del campus de Alcoy. Se pueden distinguir los dos planos delimitadores, el zeppelin y los espacios para las lonas con la imagen gráfica del 50 aniversario.....	109
Figura VI-16: Detalle del componente Quest. Se ha configurado para que se inicien las misiones automáticamente al entrar el usuario en el escenario, para que se reproduzcan en el orden correcto y se ha establecido una celebración al completar las misiones (Celebrate On Complete).....	110
Figura VI-17: Elemento de colisión trigger ubicado dentro del cilindro iluminado. Cuando el avatar entra dentro del cilindro, el trigger activa la animación del despliegue de las lonas conmemorativas sobre las fachadas.	110
Figura VI-18: Detalle de uno de los Trigger Event situado en una de las puertas del edificio de Carbonell. Una vez se ha completado el objetivo, descubrirlas 3 puertas, se desbloquea la última misión.....	111
Figura VI-19: Detalle del escenario con el atril y la pantalla trasera. El usuario debe subirse al escenario para completar la misión.	112
Figura VI-20: Resultado final del escenario en Unity, con todos los componentes insertados. En la jardinera se puede apreciar el componente Seat Hotspot, representado por un sillón.	112
Figura VI-21: Menú de Creator Toolkit de Spatial en Unity, con los apartados de configuración y el icono de publicación.....	113
Figura VI-22: Vista del punto de inicio del avatar en el escenario. Se puede ver el detalle del zeppelin con el logotipo del 50 aniversario, así como el cilindro iluminado que activa la aparición de las banderas.	114
Figura VI-23: Detalle del menú de creación de contenido online de Spatial, donde podremos seleccionar nuestro Empty Frame.....	115

Abreviaturas

MV	Metaverso
VR	Realidad Virtual
DT	Gemelos Digitales
AR	Realidad Aumentada
MR	Realidad Mixta
AI	Inteligencia Artificial
UX	Experiencia de usuario

Capítulo 1

1. Introducción y objetivos

1.1 Contexto y motivación

En la última década, los avances en tecnologías emergentes como la VR, los DT y el concepto del MV (Stephenson, 2022) han transformado profundamente la manera en que las personas interactúan con entornos físicos y digitales (Winters, 2021). Estas tecnologías no solo han generado una revolución en los sectores del entretenimiento y los videojuegos, sino que también están teniendo un impacto significativo en contextos industriales, educativos y culturales (Rijmenam, 2022). La convergencia de estas herramientas digitales está siendo catalizadora de la transición hacia la Industria 5.0, una nueva fase del desarrollo industrial caracterizada por la integración armónica entre humanos y máquinas, orientada a una producción inteligente, sostenible y centrada en el bienestar humano (Acevedo Nieto, 2022).

El MV, entendido como una red persistente de mundos virtuales tridimensionales interconectados, representa una evolución del Internet actual hacia entornos inmersivos donde se pueden replicar, simular y expandir experiencias del mundo físico (Buhalis et al, 2023). La VR, como tecnología base del MV, permite la inmersión sensorial del usuario en espacios digitalmente generados, aumentando la capacidad de interacción y simulación (Shukla et al, 2024). Por su parte, los DT consisten en réplicas virtuales dinámicas de sistemas, objetos o procesos físicos, conectadas en tiempo real a través de sensores y dispositivos IoT (Internet of Things), lo cual permite una monitorización, análisis y predicción avanzada del comportamiento de dichos elementos.

Estas tecnologías emergentes abren nuevas posibilidades en campos como el turismo (Basheer et al, 2024) (Triviño Tarradas et al, 2024), el marketing (Bilgihan et al, 2024) la educación y la formación profesional (Lee et al, 2022) al permitir experiencias de aprendizaje inmersivas, personalizadas y altamente eficaces. En el ámbito museístico y cultural (Sánchez, 2022), ofrecen herramientas para preservar, replicar obras y democratizar el acceso al patrimonio. En la industria (Dhanda et al, 2025), posibilitan la optimización de procesos, la gestión eficiente de recursos y una mayor flexibilidad en la toma de decisiones mediante simulaciones avanzadas y análisis predictivos. (Grieves et al, 2024)

La hipótesis principal de esta investigación reside en explorar cómo la integración de MV, VR Y DT puede redefinir los modelos tradicionales en sectores clave como la industria 5.0, la educación, la formación profesional y las instituciones culturales como los museos. A pesar de la creciente adopción de estas tecnologías, todavía existen aspectos poco desarrollados respecto a su implementación efectiva, sus beneficios reales y sus desafíos técnicos, éticos y sociales.

Aspectos como el estudio del diseño de estos espacios, puede mejorar la experiencia de usuario (UX) y reducir el coste de creación de estos mundos (programación, modelado, servidores, etc.); puede desplazar los actuales esquemas verticales de las grandes empresas que tienen acceso a estas tecnologías, hacia una estructura horizontal, para democratizar estas nuevas tecnologías a todo el público.

1.2. Objetivos de Investigación y Alcance

El objetivo general de esta investigación es analizar a través de casos propios resueltos el uso del MV, la VR y los DT en distintos sectores estratégicos, evaluando sus aplicaciones, el cumplimiento de los objetivos programados en el marco de la Industria 5.0 y de la transformación digital de los entornos educativos y culturales.

Objetivos específicos:

Analizar el estado del arte de las tecnologías de Metaverso, VR y Gemelos Digitales, identificando sus principios tecnológicos, evolución histórica, tendencias actuales y perspectivas futuras.

1.- Explorar las aplicaciones prácticas de estas tecnologías en el contexto de la Industria 5.0, con especial énfasis en la automatización inteligente, la colaboración humano-máquina y la sostenibilidad.

2.- Aplicar estas herramientas PARA la transformar la relación el contenido y el espacio museístico, con énfasis en la digitalización del patrimonio, la experiencia del visitante y la accesibilidad cultural.

3.- Evaluar el uso de entornos inmersivos en la formación profesional y la educación, considerando algunos aspectos fundamentales de usabilidad, eficacia pedagógica, motivación del aprendizaje y barreras de implementación.

4.- Identificar algunos de los aspectos sociales asociados al despliegue de estas tecnologías, respecto de la inclusión digital, interoperabilidad y sostenibilidad. Adelantar otros relacionados con la privacidad de estos procesos.

5.- Proponer un marco metodológico que ejemplifique la adopción responsable de estas tecnologías, facilitando su integración democrática que no recurran al género, por las posibilidades de avatarización que permiten todas las variantes posibles de participación.

El alcance de esta investigación es transdisciplinar (varias disciplinas diferentes) y se basa en un enfoque sistémico. Se abordan tanto aspectos técnicos como humanos y organizativos, considerando las implicaciones de la interacción entre las tecnologías emergentes y los sistemas sociales en los que se insertan. La investigación no se limita a un análisis descriptivo, sino que busca contribuir a la construcción de modelos teóricos y prácticos que orienten la implementación de estas herramientas en contextos reales. Proponer un marco conceptual y metodológico para la adopción responsable de estas tecnologías, facilitando su integración eficaz y ética en los sectores analizados.

En el contexto actual, se han llevado a cabo numerosos estudios que han culminado en la publicación de cuatro artículos en revistas de alto impacto. En todos ellos se investiga el efecto de las diversas aplicaciones de la VR, el MV y los GT, en distintos ámbitos, tanto artísticos como industriales. A continuación, se presenta una breve descripción de los objetivos perseguidos en cada uno de ellos:

1.- En el artículo, “Basic Aspects of digital interior design in virtual reality and its adaptation to the metaverse. Biomimetic case.” presenta un estudio de la mejora de los espacios inmersivos mediante técnicas de diseño. Se analizó un espacio virtual de para la empresa de cosméticos Biomimetic, y se mejoró su aspecto formal con una nueva composición de elementos y una selección de materiales. Se definió así, un entorno más atractivo para el usuario. Las teorías modernas del diseño mantienen su influencia también en la creación de espacios inmersivos para el MV, puesto que se pueden integrar sus parámetros estéticos, compositivo, además de

los propios de UX. Las técnicas UX permiten estructurar necesidades, optimizar la interacción y generar entornos intuitivos y satisfactorios. Asimismo, muchas de las tipologías de diseño de carácter lúdico se basan en estrategias que enriquecen la interactividad y se enfocan en el disfrute del usuario. En conjunto, este modo de investigar, con el diseño enfocado en la ideación de experiencias virtuales envolventes, coherentes y funcionales, está alineado con mejorar las expectativas del usuario y camina a la par con el avance tecnológico propio del entorno del MV.

2.- En la publicación “Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura” se investiga la aplicación de estas tecnologías para crear espacios culturales inteligentes. El metaverso (MV) integrado en los museos amplía sus capacidades divulgativas y flexibiliza la investigación, transformando el acceso general a los contenidos de estas entidades: colecciones temporales, patrimonio artístico, archivos históricos, y bibliotecas mediante entornos digitales inmersivos e interactivos. Esta tecnología favorece la divulgación y democratización del conocimiento, al ofrecer experiencias inclusivas y adaptables a diferentes edades, necesidades y capacidades. La combinación del MV con tecnologías como la realidad aumentada (AR), VR y holográfica permite la creación de exhibiciones híbridas que enriquecen la experiencia sensorial y emocional del usuario. Esta evolución desafía las metodologías museísticas más tradicionales, alterando la relación espaciotemporal y modificando las dinámicas de mediación e integración del conocimiento en el visitante, que comienza a asumir el rol del usuario activo de la cultura, lo que representa un cambio importante en cuanto a la percepción de la obra de arte, el aprendizaje y su disfrute.

Situándonos en este contexto, es fundamental planificar estructuras de mediación que impliquen el diseño digital para la adecuación en el MV. Según estas investigaciones, todo apunta a una transformación global que afectará a también a los museos. Así, en un futuro no tan lejano, se verán transformados en espacios híbridos, donde lo físico y lo digital coexistirán de forma sinérgica.

3.- En el artículo “Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil” se explora el uso del MV en el diseño de stands virtuales para ferias textiles, mediante Spatial.io. Busca optimizar la interacción fabricante-cliente en la industria 5.0, integrando un selector de texturas programado. El stand, evaluado en Habitat Valencia 2024, demostró su eficacia para promocionar productos, ampliando las funciones del modelo físico tradicional. Este artículo presenta los resultados de una prueba sobre la aplicación del MV y tecnologías emergentes en la modernización de la industria textil, en el contexto de la Industria 5.0. Utilizando Spatial Creator Toolkit v1.60, se diseñó un gemelo digital de un stand comercial, integrando simuladores de telas para mejorar la experiencia del usuario y fomentar la interacción con el producto. Los hallazgos muestran beneficios significativos en términos de sostenibilidad, reducción de costos logísticos y promoción de productos. Con esto, se plantea la viabilidad de aplicar esta tecnología a sectores del diseño de producto como el cerámico o el del diseño de mobiliario, e incluso en otros contextos como el educativo o el industrial mediante gemelos digitales interactivos. Ha sido el caso de una máquina de inyección de plástico en 3d, indica cuál. El estudio también propone desarrollar un manual de buenas prácticas para el diseño de contenido en el metaverso, fundamentado en los principios básicos de composición de la forma y empleo del color, con el objetivo de crear entornos virtuales más ergonómicos, funcionales, sostenibles y centrados en la satisfacción del ser humano.

4.- Finalmente, en el artículo “El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso” se analiza la convergencia entre VR, MV y DT en la celebración de actos conmemorativos, trasladados y, por lo tanto, transformados en entornos virtuales. Se destaca el impacto metodológico en los procesos de digitalización y su influencia sobre los nuevos modelos de interacción social. Este artículo examina la integración de

tecnologías emergentes, como Spatial Creator Toolkit v1.60, en la educación y organización de eventos. Se desarrolló un DT del campus de Alcoy, validando su eficacia mediante simulación inmersiva y herramientas propias de entornos de videojuegos. Los resultados muestran beneficios en la divulgación del conocimiento, gamificación del aprendizaje y la experiencia de usuario vanguardista. Se propone extender estas metodologías a otras áreas científicas, promoviendo la transición hacia la industria 5.0. Los resultados evidencian el potencial de estas tecnologías para crear espacios inmersivos, inclusivos y adaptativos en contextos educativos y socioculturales.

En estos manuscritos, se formuló una hipótesis general: el buen diseño influye en la mejora de la UX (H0). Se formularon también hipótesis específicas para cada contribución: es así que, en el artículo *“Basic Aspects of digital interior design in virtual reality and its adaptation to the metaverse.Biomimetic case.”*, se postuló que el buen diseño mejoraba la navegabilidad del usuario y lo demostró describiendo cómo conseguía llegar a cada uno de los stands del escenario(H1). Por otro lado, en *“Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura”* se propuso mejorar la UX mediante estas tecnologías, ofreciendo la posibilidad de sustituir las exposiciones itinerantes por museos virtuales donde el artista puede mostrar y vender su obra, sin límites de temporales(H2).

En el siguiente artículo, *“Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil”* se supuso que se podían reducir los costes de construcción y montaje de un stand físico para una feria de muestras, mediante la utilización de RV, MV y DT(H3). Y finalmente, en *“El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso”* se planteó la hipótesis parcial en la que un evento tradicional podía mejorar mediante escenarios virtuales gracias al uso de MV y DT.(H4)

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, esta investigación se desarrolló en un entorno geográfico delimitado, durante un periodo temporal determinado y con una muestra poblacional específica. Se adoptó un diseño metodológico de carácter cuantitativo, empleando como técnicas de recolección de datos la aplicación de encuestas presenciales y la realización de pruebas con usuarios sobre prototipos de entornos virtuales. Para el tratamiento de la información obtenida, se llevaron a cabo análisis estadísticos mediante instrumentos estandarizados como el Igroup Presence Questionnaire (IPQ) y el System Usability Scale (SUS), comúnmente utilizados en estudios de experiencias inmersivas, con el objetivo de evaluar tanto la percepción de presencia como los niveles de satisfacción del usuario.

1.3. Contribución al Conocimiento

Esta investigación pretende aportar de manera significativa al campo de estudio de las tecnologías inmersivas aplicadas, a través de la integración de tres ámbitos generalmente tratados de forma separada: el MV, la RV y los DT. La principal contribución reside en la articulación de estas tecnologías bajo un enfoque holístico y centrado en el ser humano, en línea con los principios de la Industria 5.0.

En términos académicos, la investigación ofrece un marco conceptual actualizado que permite comprender las sinergias entre estas tecnologías y sus impactos diferenciados en distintos sectores. Se sistematizan experiencias internacionales y casos de estudio relevantes que permiten ilustrar buenas prácticas, así como también errores comunes en los procesos de implementación.

En el plano práctico, se espera ofrecer orientaciones aplicables para diseñadores, ingenieros, gestores culturales y educadores sobre cómo incorporar estas herramientas en sus respectivas áreas. Asimismo, se elaborarán criterios de evaluación de eficacia, eficiencia e impacto social que puedan ser utilizados como guía en futuras investigaciones o proyectos piloto.

Finalmente, desde una perspectiva crítica, esta investigación también busca fomentar una reflexión sobre los límites y riesgos asociados a la adopción acelerada de tecnologías inmersivas. Se explorará cómo estas herramientas pueden contribuir a una mayor equidad en el acceso al conocimiento y la cultura, o si, por el contrario, podrían reforzar brechas digitales existentes.

1.4. Metodología de Investigación

La investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo-cuantitativo mixto, dividido en cuatro fases principales:

Revisión Sistemática de la Literatura (RSL): Se realizará barrido completo del conocimiento actual sobre VR, MV y DT, con base en fuentes académicas indexadas, textos técnicos, documentos normativos. La revisión permitirá identificar conceptos clave y debates vigentes además de las imprecisiones o lagunas de conocimiento al respecto.

Estrategia de búsqueda: Para garantizar la rigurosidad científica y la transparencia del proceso de revisión bibliográfica, se adoptará una metodología de carácter sistemático inspirada en la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este enfoque permitirá estructurar y documentar de manera clara cada etapa de la identificación, filtrado y selección de fuentes académicas relacionadas con el metaverso y sus aplicaciones en el marco de la Industria 5.0.

La búsqueda inicial se realizará en bases de datos científicas de alto impacto, tales como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar. Adicionalmente, se consultaron informes de organismos internacionales (Unión Europea, Foro Económico Mundial, UNESCO) y literatura gris relevante (white papers y reportes técnicos de empresas tecnológicas). Los términos de búsqueda se definieron mediante un sistema de palabras clave y operadores booleanos, como:

- *metaverse AND Industry 5.0*
- *virtual reality OR augmented reality AND human-machine collaboration*
- *digital twins AND advanced manufacturing*
- *metaverse AND industrial applications*

Se incluirán sinónimos y variaciones terminológicas para ampliar la cobertura de resultados. Para refinar el corpus documental, se aplicarán los siguientes criterios:

- Criterios de inclusión:
 - Publicaciones entre 2018 y 2025, periodo de consolidación del concepto de Industria 5.0 y auge del metaverso.
 - Documentos en inglés y español.
 - Estudios que abordaran de forma explícita la relación entre tecnologías inmersivas, inteligencia artificial, gemelos digitales y la Industria 5.0.
 - Artículos revisados por pares, capítulos de libros académicos, actas de congresos y reportes institucionales con alta credibilidad.
- Criterios de exclusión:
 - Publicaciones anteriores a 2018 (salvo textos seminales).
 - Documentos sin acceso completo al texto.
 - Fuentes carentes de sustento académico, como blogs, notas de prensa o literatura no verificada.

Proceso de Selección: El proceso de selección se realizará en tres etapas:

1. Identificación: recuperación inicial de resultados mediante las ecuaciones de búsqueda.
2. Cribado: eliminación de duplicados y revisión de títulos y resúmenes para descartar los que no cumplieran con los criterios de inclusión.
3. Elegibilidad y selección final: lectura completa de los textos restantes para evaluar su pertinencia, relevancia temática y calidad académica.

Resultados de la búsqueda: De acuerdo con la metodología PRISMA, se documentará el flujo de selección de fuentes. Inicialmente se identificarán los documentos, de los cuales se eliminarán los duplicados. Tras el cribado por título y resumen, se seleccionarán las fuentes que constituyen el núcleo de análisis de esta investigación, que se detallará en las Referencias.

Estudio de Casos: Se seleccionarán casos representativos de implementación de estas tecnologías en industrias inteligentes, museos y entornos educativos. Se analizarán mediante técnicas de observación no participante, entrevistas semiestructuradas con expertos y análisis documental. Esto permitirá una comprensión profunda de los factores que conducen al éxito o al fracaso.

Encuestas y Entrevistas: Se aplicarán instrumentos cuantitativos (encuestas) a profesionales de diversos sectores industriales, culturales y educativos para identificar limitaciones en la percepción, barreras existentes y potenciales, y expectativas en relación con el uso de estas tecnologías inmersivas. Paralelamente, se realizarán entrevistas cualitativas a los actores clave para obtener datos complementarios.

Análisis y Síntesis: Los datos recopilados serán analizados mediante técnicas de análisis de contenido y análisis estadístico descriptivo e inferencial. La triangulación de estos métodos garantizará la validez y fiabilidad de los resultados. Finalmente, se propondrá un modelo integrador y las recomendaciones estratégicas para la adopción de estas tecnologías.

La articulación entre el VR, MV y DT, representa una oportunidad sin precedentes para repensar los procesos de producción, formación, educación y preservación cultural en el contexto de la Industria 5.0. Esta investigación tiene como propósito ofrecer una visión rigurosa y crítica de sus aplicaciones y desafíos, sentando bases teóricas y prácticas para su integración ética, sostenible y centrada en el ser humano.

1.5. Estructura de la tesis

Este informe refleja en detalle la investigación realizada durante el desarrollo de la tesis doctoral. La tesis se presenta en forma de capítulos que coinciden temporalmente con los artículos publicados en revistas científicas y congresos.

En este contexto, el presente documento se ha dividido en seis capítulos para facilitar su lectura y comprensión. Estos se detallan a continuación.

1.- Capítulo 1: Introducción y objetivos

Se ofrece una visión general de los propósitos y la motivación de esta tesis doctoral. Con ese fin, se contextualiza el estudio y se exponen las razones principales que justifican la elección del tema. Asimismo, se especifican los ámbitos en los que se pretende contribuir al conocimiento y se presenta una descripción general de la metodología empleada en la investigación.

2.- Capítulo 2: Aspectos básicos de diseño de interiores empleados en la Realidad Virtual y su adaptación al Metaverso. (CASO Biomimetic).

Este capítulo presenta el primer trabajo experimental publicado en esta investigación. Examina los resultados de un proyecto profesional desarrollado para la empresa Cosméticos Biomimetic, centrado en el uso de la VR e integrada en el MV. Se analizan mejoras en usabilidad y diseño digital, incorporando principios de ergonomía y diseño industrial aplicados al interiorismo. Se evalúa el impacto de la ergonomía visual en la experiencia del usuario con dispositivos como Oculus Quest 2. El estudio forma parte de un proyecto mayor orientado a establecer un manual de buenas prácticas para el diseño centrado en el usuario, con el fin de optimizar estrategias comerciales y promover nuevos servicios.

3.- Capítulo 3: Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura.

Este capítulo aborda la aplicación del metaverso y la transformación digital en museos como parte del proceso hacia el desarrollo del museo inteligente. Se analizan tecnologías emergentes (MV, inteligencia artificial (AI), AR y VR) y su impacto en la evolución de la experiencia cultural. Se destaca la transición hacia exhibiciones interactivas, inmersivas y personalizadas mediante IA, así como el uso de AR/VR para contextualizar históricamente los artefactos. La gestión digital eficiente y el IoT optimizan el acceso, la seguridad y la operación museística. El estudio enfatiza la integración tecnológica como medio para preservar y difundir el patrimonio artístico y cultural.

4.- Capítulo 4: Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil

Este estudio explora la aplicación del metaverso en el diseño de stands virtuales para ferias comerciales, con foco en la exhibición de textiles, especialmente telas de tapicería. Enmarcado en la Industria 5.0, se prioriza la interacción usuario-fabricante y el diseño centrado en la experiencia. Utilizando la plataforma Spatial.io y su toolkit, se desarrolló un entorno tridimensional con un selector de texturas programado para visualizar diferentes tejidos. El stand, basado en especificaciones del cliente y principios de diseño contemporáneo, fue evaluado en la feria Hábitat Valencia 2024, demostrando el potencial del metaverso para fortalecer la promoción y comercialización en el sector textil.

5.- Capítulo 5: Aplicación de gemelos digitales en el Metaverso, para la formación en inyección de plásticos.

Este estudio analiza la aplicación de gemelos digitales en el metaverso como herramienta formativa en procesos de inyección de plásticos. Se plantea que su uso permite simular

virtualmente la manufactura completa, mejorando la comprensión teórica y práctica sin requerir instalaciones físicas ni generar desperdicio. Se desarrolló un modelo 3D interactivo de una máquina de inyección, que permite ajustar parámetros clave y observar sus efectos en tiempo real. Los datos fueron validados con pruebas reales. Esta metodología favorece el aprendizaje seguro y eficiente, optimiza procesos industriales y posiciona a los estudiantes frente a los desafíos de la Industria 5.0 y fábricas inteligentes.

6.- Capítulo 6: El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso.

Este estudio analiza la convergencia entre realidad virtual, metaverso y gemelos digitales en la digitalización de actos conmemorativos tradicionalmente físicos, explorando su impacto en la transformación de modelos de interacción social. La realidad virtual se presenta como tecnología inmersiva multisensorial integrada en entornos virtuales persistentes, mientras que los gemelos digitales se conciben como réplicas virtuales precisas con aplicaciones en simulación y optimización. A partir del diseño de los elementos físicos de un evento conmemorativo diseñado para la celebración del 50 aniversario de la Escuela Politécnica Superior de Alcoy dentro de la Universitat Politècnica de València, se documenta el desarrollo de un gemelo digital de la plaza Ferrándiz y Carbonell para conmemorar virtualmente este acontecimiento. La evaluación del entorno evidenció su potencial para redefinir espacios digitales orientados a la socialización y el aprendizaje.

7.- Capítulo 7: Discusión general

Este capítulo se centra en el análisis e interpretación de los resultados más significativos obtenidos a lo largo del estudio, en concordancia con los objetivos previamente definidos. Asimismo, se exploran las implicaciones de dichos hallazgos en el contexto de la literatura científica existente. Este apartado constituye un espacio para la reflexión crítica, permitiendo identificar las conclusiones más relevantes derivadas de la investigación y, con ello, contribuir de manera sustancial a la culminación satisfactoria del trabajo doctoral.

8.- Capítulo 8: Conclusiones

Este capítulo ofrece una síntesis final de los resultados alcanzados, examinando las limitaciones del estudio y proponiendo posibles direcciones para investigaciones futuras que se derivan de los hallazgos obtenidos.

Capítulo 2

2. Aspectos básicos de diseño de interiores empleados en la Realidad Virtual y su adaptación al Metaverso. (CASO Biomimetic).

Jover Peris, V., Sempere Ripoll, S., & Ferrándiz Bou, S. (2024). Basic Aspects of Digital Interior Design Used in Virtual Reality and Its Adaptation to the Metaverse. Biomimetic CASE. Advances in design Engineering IV, Springer, 56, 66 https://doi.org/10.1007/978-3-031-51623-8_6

La presente investigación analiza los resultados de un proyecto profesional realizado para la empresa Cosméticos Biomimetic, en el cual se utilizó la VR. El estudio se centra en la mejora de las aplicaciones de VR y su integración en el MV, abordando aspectos fundamentales del diseño digital y la usabilidad. Se incorporan conceptos de ergonomía y diseño industrial, especialmente en el ámbito del interiorismo, para evaluar cómo la ergonomía visual impacta la experiencia del usuario en aplicaciones de VR, específicamente en dispositivos como las Oculus Quest 2. Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación más amplio que busca establecer un Manual de Buenas Prácticas (MBP) para guiar el diseño de aplicaciones y productos centrados en la experiencia del usuario. En conclusión, se propone que la implementación de estos procedimientos puede ampliar las estrategias comerciales y estimular la demanda de nuevos servicios.

2.1 Introducción

Mediante el software 3dsmax y Unreal, se ha diseñado la aplicación de Realidad Virtual (RV) para las gafas de RV Oculus Quest 2 (Meta). Se ha diseñado un espacio en donde se muestran, en distintos atriles y escenarios, las propiedades de los productos de Biomimetic, desde su composición molecular hasta las distintas aplicaciones farmacológicas y/o estéticas (antiedad, antimanchas, antiarrugas, etc....). Ver Fig. II-1 y Fig.II-2.

Esta experiencia inmersiva aportará al usuario, propietario de farmacia, un conocimiento completo de las propiedades y aplicaciones de los cosméticos Biomimetic. A partir de esta aplicación de VR, se ha diseñado para el portal Spatial.io [4], el mismo contenido optimizado en formato web3 (MV).

Es importante indicar que la plataforma Spatial.io añade el factor social, cuestión que no aportan las gafas de VR [5]. Es así que, aun presentando una experiencia menos inmersiva, Spatial.io permite contactar con otras personas desde un entorno web, más accesible y fácil de usar que con las gafas de VR.

El objetivo principal es perfeccionar la creación de espacios en donde los clientes puedan interactuar: bien sea en contextos formativos de la propia empresa o sencillamente para consumir y adquirir productos, además de compartir experiencias [6].



Fig. II-1: Detalle del interior de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.



Fig. II-2: Detalle de los atriles de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.

2.2 Aproximaciones: desde la Realidad Virtual al Metaverso.

El metaverso representa “el mundo virtual en constante evolución”. El término es utilizado para describir un mundo virtual cambiante, que se retroalimenta y aprende. Que existe en línea y que es accesible para los usuarios a través de tecnologías de VR o AR Aunque está en sus primeras etapas de desarrollo, el metaverso evoluciona rápidamente en popularidad y se prevé un impacto significativo en la forma en que la sociedad interactúe en línea.

El término "metaverso" fue acuñado por Neal Stephenson en su novela de ciencia ficción "Snow Crash" en 1992 [1], pero ha sido adoptado recientemente por empresas tecnológicas como Facebook y Microsoft [3] para describir sus propias iniciativas en el mundo virtual. En esencia, el metaverso se desarrolla en un espacio virtual en línea donde los usuarios pueden interactuar en tiempo real a través de avatares y experimentar una amplia gama de actividades y/o crear sus propias experiencias.

Uno de los atractivos del metaverso radica en que se trata de un mundo abierto y en constante evolución. A diferencia de anteriores mundos virtuales -más condicionados- donde la experiencia está reglada y limitada en función del desarrollador, el metaverso está diseñado para ser completamente interactivo y personalizable por los usuarios. Esto significa que se puede crear y modificar un contexto virtual propio, sus objetos y avatares, para luego compartir con los demás usuarios.

El metaverso también tiene implicaciones significativas para la economía en línea. Con la capacidad de crear y suministrar bienes virtuales, los usuarios pueden generar ingresos y construir negocios en línea. Esto ha llevado a la creación de economías virtuales dentro del

propio metaverso, donde los usuarios pueden intercambiar bienes virtuales con moneda virtual. Esta moneda virtual a menudo se puede convertir en moneda real, lo que significa que los usuarios pueden obtener ganancias económicas reales a través de sus actividades en el contexto del metaverso.

Además, su aplicación en la educación general y la formación específica en línea supone una revolución en cuanto modos de comunicación, al permitir que los usuarios interactúen desde diferentes ubicaciones de manera más “realista”. Por ejemplo, los estudiantes pueden explorar simulaciones virtuales de eventos históricos o poner a prueba destrezas y practicar habilidades en un entorno seguro.

La creación de contenido para el metaverso es una de las áreas más interesantes, fructíferas y en constante evolución de la industria tecnológica. A medida que el metaverso se torna más popular y accesible, hay una creciente demanda de contenido original y creativo para enriquecer la experiencia del usuario.

Para crear contenido para el metaverso es necesario recurrir al diseño 3D, a la animación, programación y narrativa visual. Esto se debe a que el metaverso se basa en la creación de entornos y objetos tridimensionales, lo que requiere habilidades en diseño y animación en 3D. También, la programación de estas aplicaciones es esencial para la creación de experiencias interactivas y para la integración de elementos como AI, sonidos, voz y chatbots.

Una de las formas más comunes de crear contenido para el metaverso es a través de la creación de avatares, objetos y entornos virtuales: (1) los avatares son representaciones virtuales de los usuarios que pueden personalizarse para reflejar su identidad en línea; (2) los objetos virtuales, por otro lado, son elementos tridimensionales que se pueden utilizar dentro del metaverso como son: la ropa, el mobiliario o las herramientas; (3) los entornos virtuales son mundos tridimensionales interactivos que los usuarios pueden explorar y que a menudo tienen objetivos específicos como puede ser: la exploración de un mundo imaginario, la resolución de un acertijo, etc.

Esto hace que la creación de entornos virtuales sea una de las formas más emocionantes de crear contenido para el metaverso. Para ello, se requiere de una completa comprensión de las plataformas y tecnologías utilizadas para su creación y distribución. Algunas de las plataformas más empleadas incluyen Second Life, High Fidelity, OpenSim, Sansar y Spatial. Todas y cada una de ellas tiene sus propias herramientas y requisitos para la creación de contenido.

También, es importante tener en cuenta que, a diferencia de otros medios, donde el contenido se consume pasivamente, el contenido para el metaverso debe tener un carácter interactivo que permita a los usuarios explorar, experimentar y colaborar con otros usuarios. Actualmente, la mayoría de los contenidos para metaverso están ideados y contruidos por programadores e informáticos, sin tener en cuenta aspectos importantes del diseño a diferentes niveles como: la creación de ambientes, diseño de arquitecturas espaciales; otros aspectos propios del lenguaje visual como son el empleo del color o el volumen de luces y sombras, la composición de los elementos constructivos; y otros más narrativos como la planificación de la UX, etc...

El objetivo en este trabajo es analizar los errores que se comenten a menudo en la construcción de estos espacios inmersivos y proponer un manual básico-polivalente, a modo de manual de buenas prácticas, que orienten de alguna manera el diseño del contenido visual de estos espacios tridimensionales, tomando como guía reglas básicas del diseño contemporáneo. Partiremos para ello del trabajo realizado para Biomimetic, empresa de cosméticos ubicada en Alcoy, Alicante. Dicha empresa solicitó realizar en tiempo de pandemia una aplicación de Realidad Virtual para las gafas Oculus Quest 2 (Fig. II-3).



Fig. II-3: Detalle de las gafas de realidad virtual Oculus Quest 2 de Meta(Facebook).

La empresa Biomimetic tenía que resolver el problema que impedía a los comerciales poder visitar las farmacias para promocionar sus productos. Mediante la creación de una aplicación de Realidad Virtual, se pretendía dejar en depósito un dispositivo de gafas Oculus al propietario de cada farmacia, para que pudiera acceder a los productos mediante una experiencia inmersiva. Con esto se conseguiría emplear la VR como una herramienta de marketing, donde el usuario aprendería las propiedades de la marca o productos Yalic, producto estrella de Biomimetic y se solventaría el problema generado por la pandemia.

Partiendo del material existente en el portal web y en las redes sociales de Biomimetic, tanto vídeos como imágenes, se planeó diseñar un espacio expositivo virtual donde el usuario, a través de distintas salas, podía conocer las propiedades y beneficios de los cosméticos de Biomimetic, desde sus componentes moleculares hasta sus distintas aplicaciones: antiedad, antiarrugas, etc...Fig. II-4 a II-10.



Fig. II-4: Detalle de uno de los atriles del showroom virtual de Biomimetic.

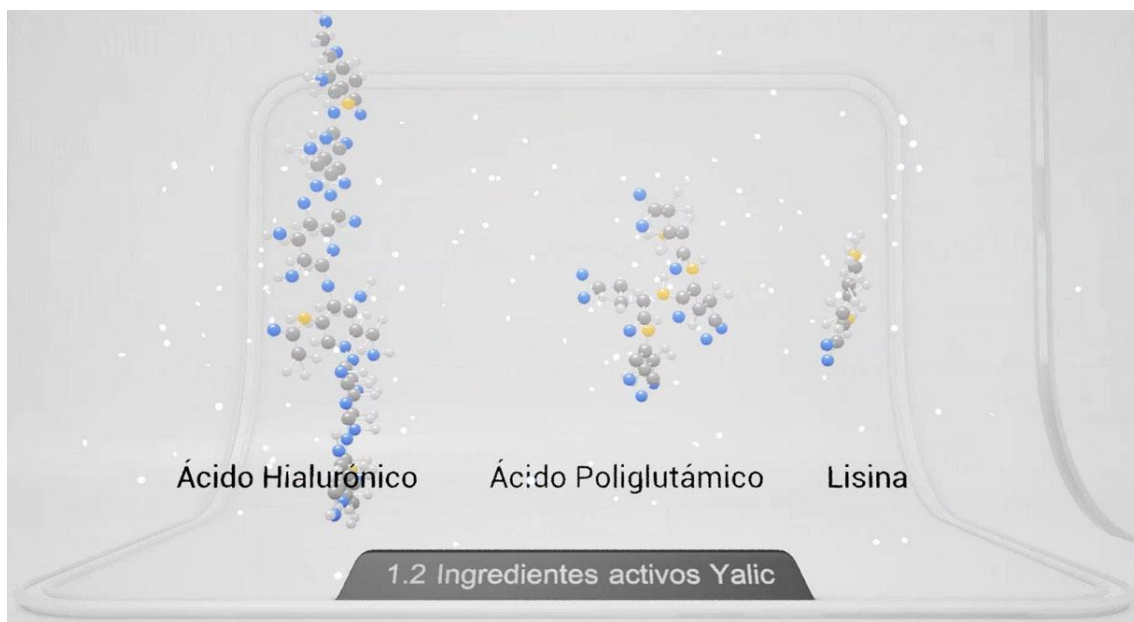


Fig. II-5: Atril descriptivos de los ingredientes activos Yalic.



Fig. II-6: Montaje 3D explicativo de la penetración de Yalic en la piel.

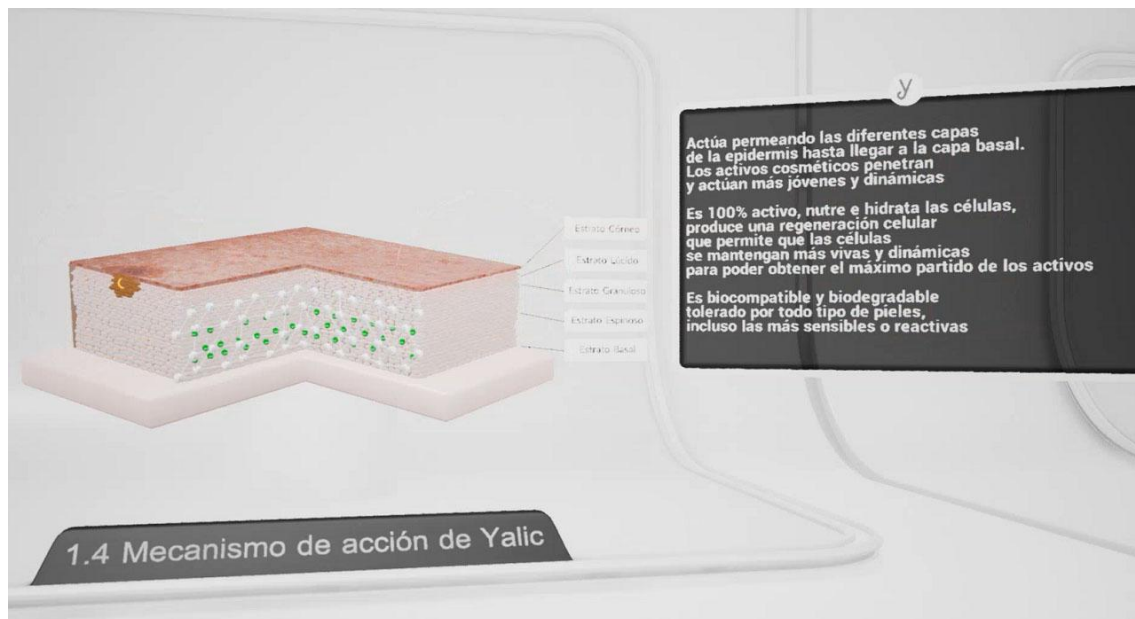


Fig. II-7: Paneles descriptivos que acompañan a los atriles.

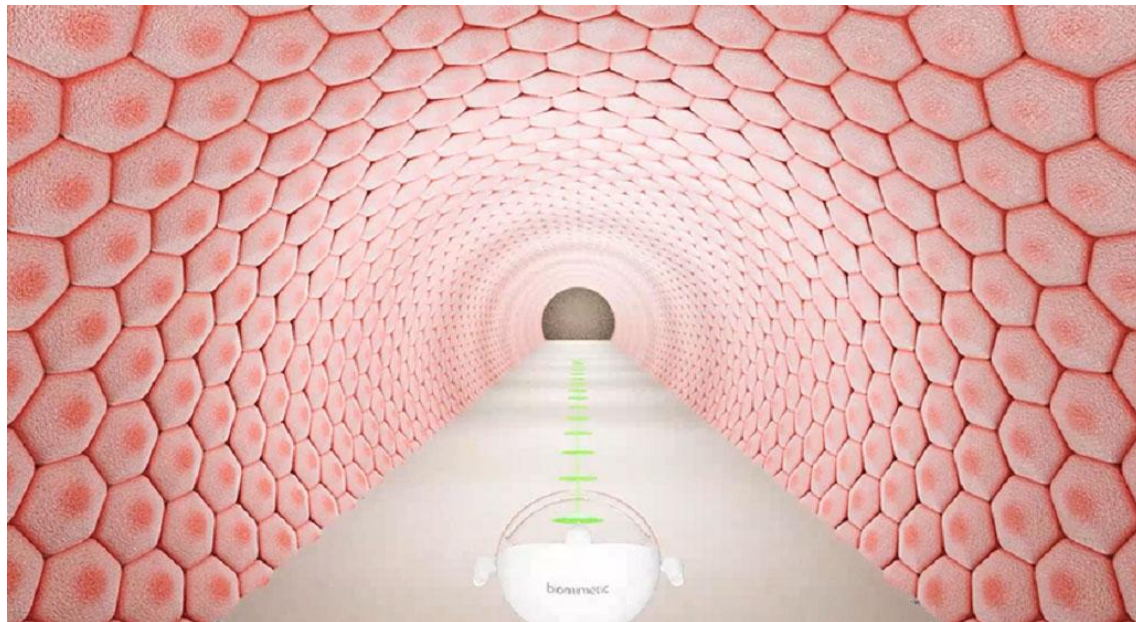


Fig. II-8: Recreación 3D del interior de la epidermis.

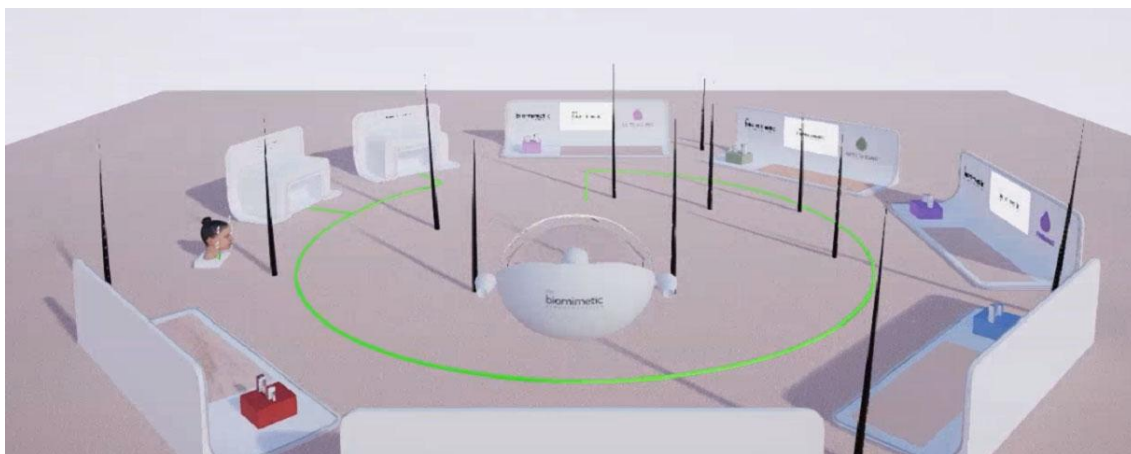


Fig. II-9: Exterior de la piel. Diseño de los atriles que definen cada uno de los tratamientos.

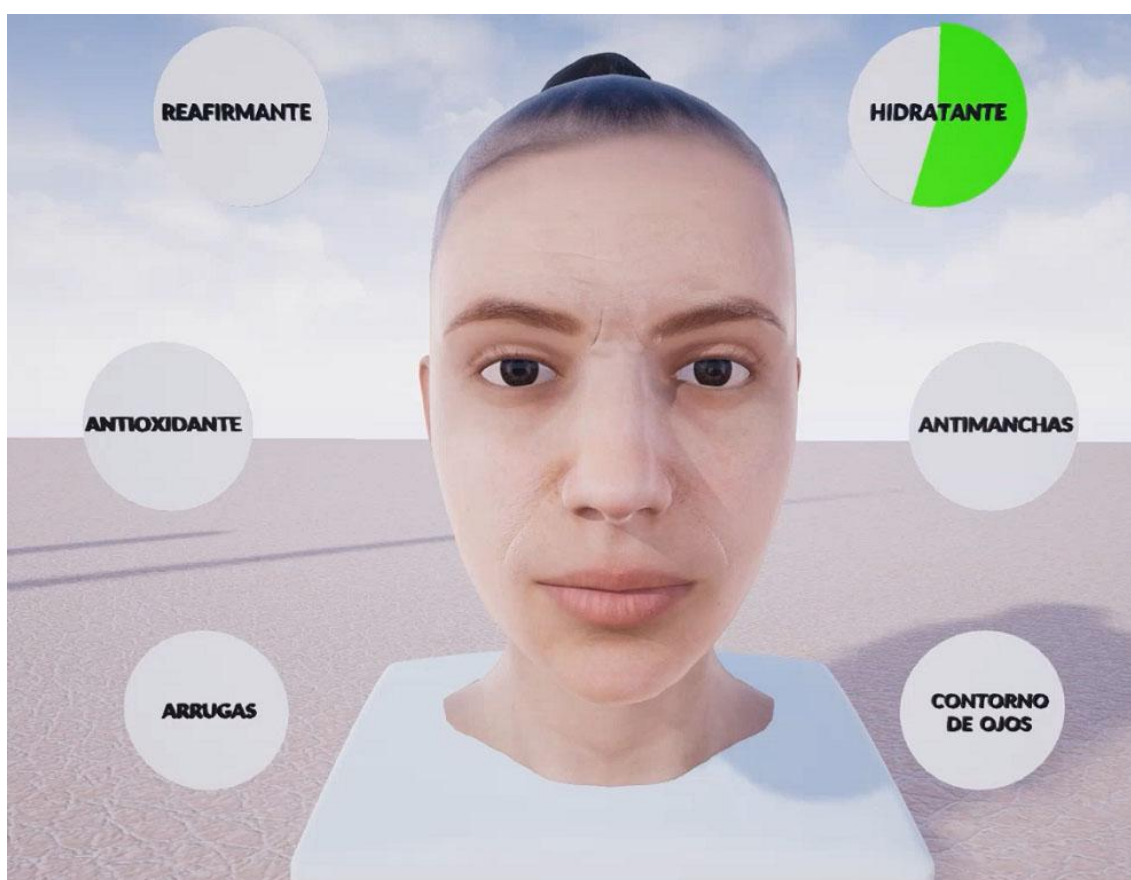


Fig. II-10: Resumen de los tratamientos, aplicados sobre un rostro humano.

2.2 De la Realidad Virtual al Metaverso. Caso Práctico en Biomimetic.

El desarrollo de esta investigación se ocupa de adaptar el contenido creado para Realidad Virtual a un escenario inmersivo para Metaverso [1], con todas las funcionalidades de avatarización y socialización para el usuario que ello conlleva. Además, se pretende obtener una serie de buenas prácticas para definir los elementos del escenario, combinación de colores, armonía de sonidos, etc...basándonos en teorías modernas del Diseño y el Interiorismo [2].

Las teorías modernas del diseño se refieren a un conjunto de principios y conceptos que se han venido desarrollado en la Bauhaus desde los años veinte del siglo pasado, y que se han utilizado para guiar la práctica del diseño hasta nuestros días. Estas teorías han ido enriqueciéndose influenciadas por diversos movimientos culturales, tanto arquitectónicos, artísticos como tecnológicos. Algunas de las teorías modernas del diseño más importantes son:

1.- Proporción y simetría: La proporción y la simetría son principios fundamentales en la teoría moderna del diseño. Un correcto empleo de la proporción y la simetría, influye en la belleza del conjunto, por lo tanto, sus principios básicos deben ser considerados al diseñar cualquier elemento, desde edificios hasta objetos de uso.

2.- Orden y jerarquía: Esta teoría también enfatiza la importancia del orden y la jerarquía en el diseño. Un diseño con una ordenación y jerarquización concreta de sus elementos es más comprensible, y por tanto se puede apreciar mucho mejor.

3.- Funcionalidad: Es otro principio fundamental. Un buen diseño debe ser funcional y práctico según los objetivos del diseñador/a, además de ser estéticamente atractivo.

4.- Claridad y simplicidad: Se enfatiza la importancia de la claridad y la simplicidad en el diseño. Un diseño debe ser lo más sencillo posible en cuanto a formas, la simplicidad es preferible a la complejidad innecesaria.

5.- Equilibrio: Finalmente, la importancia del equilibrio en el diseño es una cuestión fundamental. Se cree que un buen diseño debe tener un equilibrio entre los diferentes elementos que lo componen: el color, la forma y la textura.

En nuestro caso, tendremos en cuenta también, las supuestas contemporáneas del diseño que han surgido en respuesta a cambios culturales, sociales y tecnológicos.

Algunos de ellos, por su importancia en el desarrollo de este trabajo, están englobados de esta manera:

Diseño centrado en el usuario: Esta teoría se centra en el usuario como elemento central en el proceso de diseño. El objetivo es diseñar productos y servicios que satisfagan las necesidades y deseos de los usuarios, y que genere nuevas necesidades y deseos, ampliando el arco de actuación más allá de crear algo que sea visualmente inteligible.

Diseño sostenible: El diseño sostenible se enfoca en la creación de productos y servicios que sean ecológicos y sostenibles en la mayoría de sus aspectos. Esto implica la consideración de factores como la huella de carbono, el uso de materiales reciclables, la eliminación de residuos y ciclos de vida de producto.

Diseño emocional: El diseño emocional se enfoca en la creación de productos y servicios que evoquen emociones positivas en los usuarios. Esto puede lograrse a través del lenguaje visual empleado y la narrativa de la experiencia inmersiva, del uso del color, del diseño de formas,

empleo de materiales y texturas y otros elementos de diseño que afecten al estado de ánimo y repercuta en las emociones humanas.

Diseño de experiencias: El diseño de experiencias se enfoca en la ideación y confección de experiencias atractivas para los usuarios. Esto puede implicar la creación de entornos físicos o digitales que estimulen los sentidos, con alto valor indicativo que despierten la curiosidad.

Diseño inclusivo: El diseño inclusivo se enfoca en la creación de productos y servicios que sean accesibles y utilizables para todos, independientemente del nivel de destrezas, o capacitación personal. Esto requiere incorporar factores que garanticen la facilidad de comprensión, que condicionen el diseño de la accesibilidad y la usabilidad en términos generales y específicos.

Bajo estas premisas, se ha creado un nuevo escenario virtual para Cosméticos Biomimetic no solo más accesible y funcional para el usuario, sino al mismo tiempo mejor diseñado en cuanto a composición de elementos, selección de texturas y gama cromática. Este escenario, se ha concretado en un stand que simula el de una Feria de Exposiciones tradicional, todo el contenido existente en la versión de Realidad Virtual. Sin embargo, como el nuevo escenario esta ideado para el Metaverso, para la avatarización y la socialización con los visitantes al escenario se han creado distintas áreas o espacios de relación donde se podrá asistir a conferencias, actividades de formaciones y/o charlas de networking. Allí podrán interactuar tanto los profesionales de Biomimetic como los expertos de los centros de belleza y los usuarios finales. El diseño final del escenario de metaverso preparado para la plataforma Spatial, se puede apreciar en la Fig. II-11.

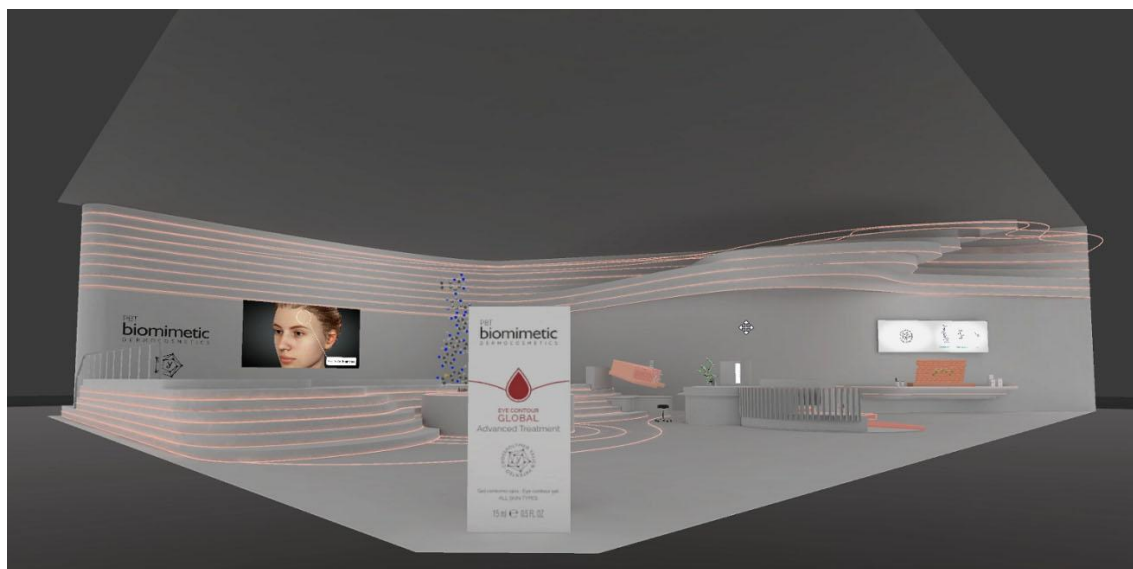


Fig. II-11: Visión general del stand de metaverso de Biomimetic.

Como se puede apreciar, se ha diseñado un espacio interconectado, donde se hace más fluido el acceder a cada uno de los atriles. En cuanto a los aspectos estéticos del conjunto de los escenarios, se ha modificado el anterior espacio diáfano, en blanco, para combinar una tonalidad gris fileteada con leds color rosa palo, que simular el color de la piel y añaden definición a los cambios de plano, cota y volumen. Esto permite además proporcionar profundidad al conjunto del escenario.

Tanto los elementos objetuales de diseño como los atriles, se han simplificado con la intención de eliminar el ruido visual que reste protagonismo al producto expuesto en su interior. Fig. II-12. También, se han diseñado distintos mostradores transparentes que sirven al mismo tiempo de expositor y asiento. Fig. II-13. Por otro lado, se ha señalado un área de reunión y formación,

donde los asistentes podrán recibir la formación establecida por la empresa, además de estar al corriente de las novedades de Biomimetic. Y construido un espacio circular que fomente la conversación grupal.

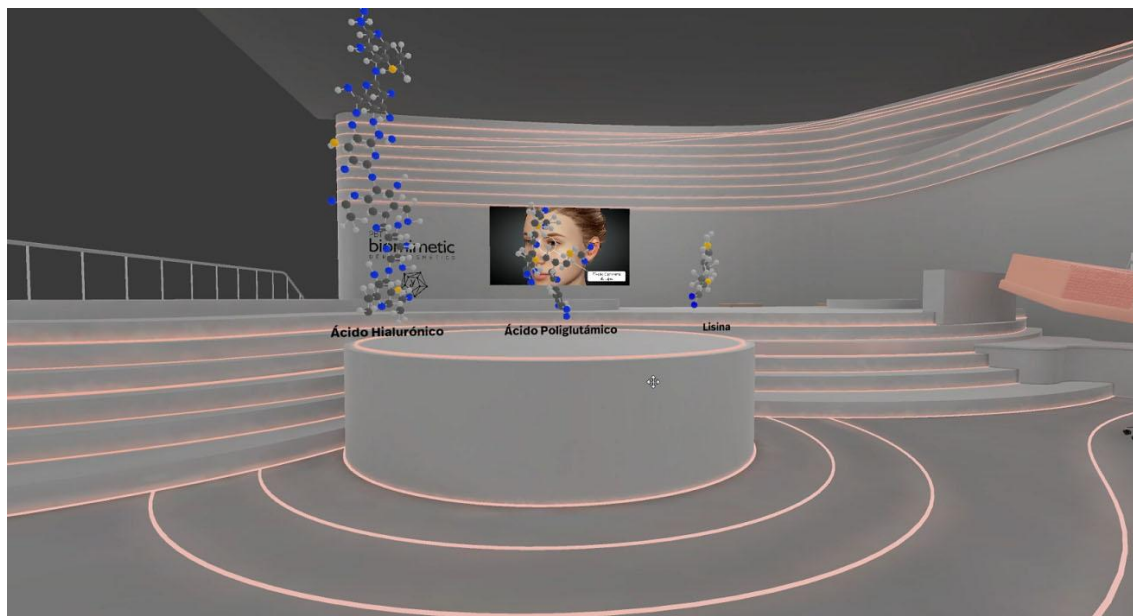


Fig. II-12: Detalle de la simplificación de los atriles.

Es importante indicar que se propone la materialización de este proyecto. Para ello, se diseñarán moldes de inyección adecuados para la fabricación de los atriles y los mostradores. La intención a futuro es utilizar este diseño de stand, los modelizados de complementos y mobiliario para aplicarlo en el showroom de la empresa, para ser expuesto en ferias físicas o fabricado para las franquicias de centros de estética urbanos o ubicados en centros comerciales.



Fig. II-13: Vista del espacio de reuniones y formación.

En la parte posterior del stand, se ha dispuesto un espacio para visualizar una maqueta animada en 3D que muestra cómo penetra el Yalic y sus compuestos hasta el estrato basal de la piel. Este stand servirá también como un expositor de producto y sobre él se ha colocado una pantalla donde se reproducirá el vídeo del atril-5 de realidad virtual. Se puede apreciar el resultado de la

esquematzación y cómo de esta manera proporciona una sensación de ligereza y sencillez. Fig. II-14.

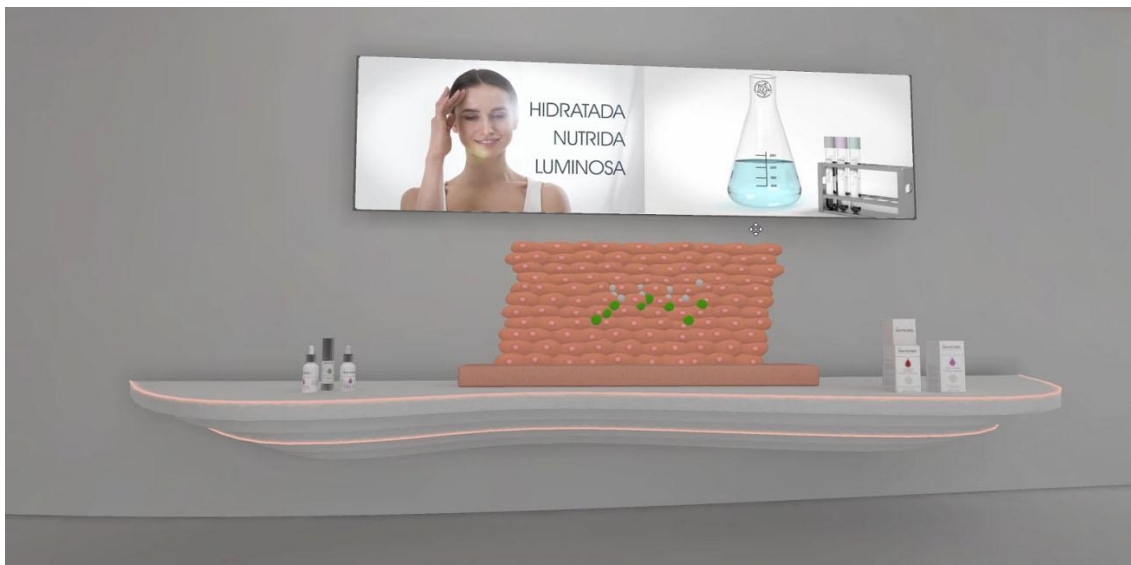


Fig. II-14: Detalle de la esquematización del atril 5 de Realidad Virtual.

Al atril 4 se le ha reducido su volumen y se ha ajustado a los escalones principales de la escalera que da paso al auditorio, esto permite que quede más integrado el conjunto espacial. Fig. II-15.

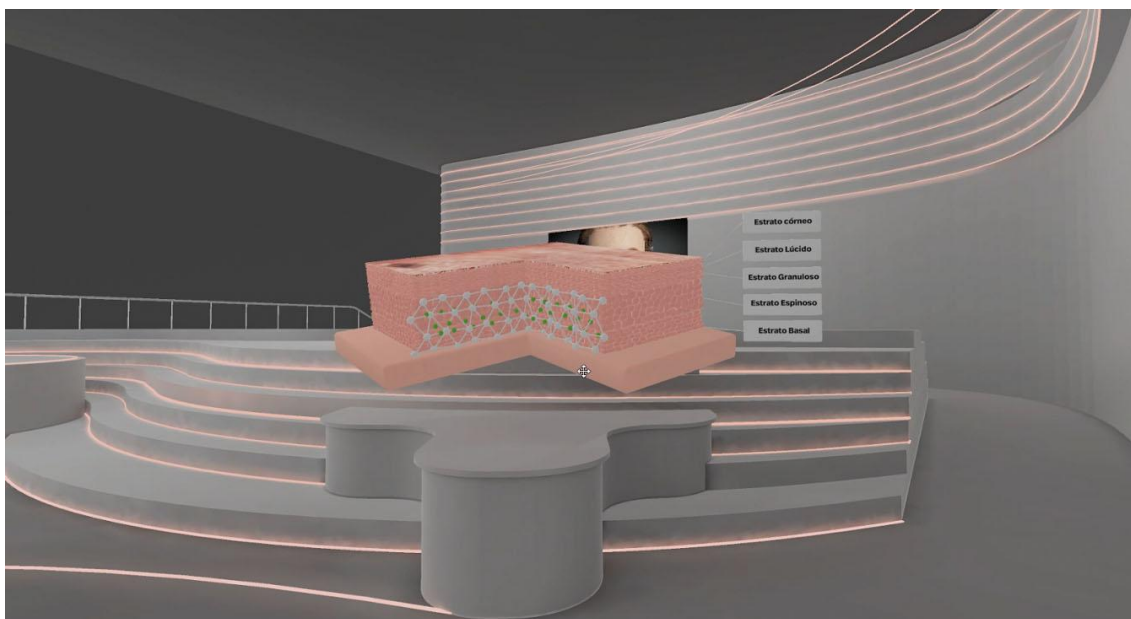


Fig. II-15: Resultado final del rediseño del atril 4.

El atril 3 se ha incorporado junto con el área de reuniones/formación. Se ha sustituido por una mesa de trabajo que soporta un microscopio y una pantalla de vídeo. Al igual que en ejemplos anteriores, se tiende a la esquematización de los elementos, creando zonas más sencillos y armonizados con el resto. Ver Fig. II-16.

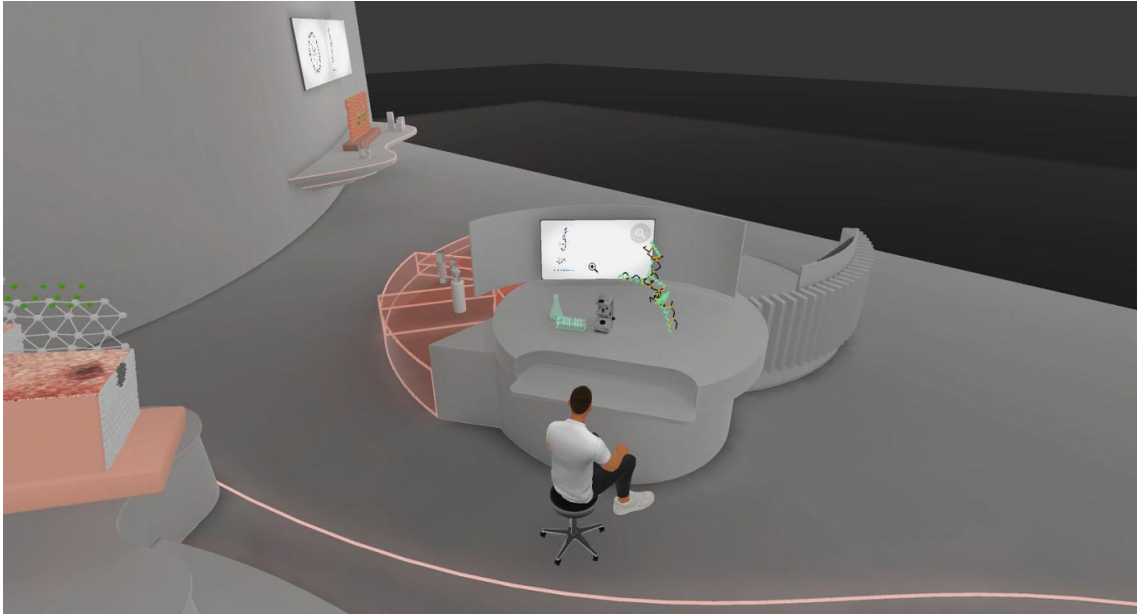


Fig. II-16: Resultado final del rediseño del atril 3 integrado con el área de Formación.

Detrás de los atriles descritos, se ha dispuesto el auditorio que es un espacio de reunión para los asistentes virtuales. En sus gradas se han colocado asientos individuales donde el avatar puede sentarse y poder recibir la información proyectada. Es aquí el espacio para reproducir audiovisuales, dar o recibir conferencias, formación, y por qué no, también un espacio de debate. Fig. II-17.

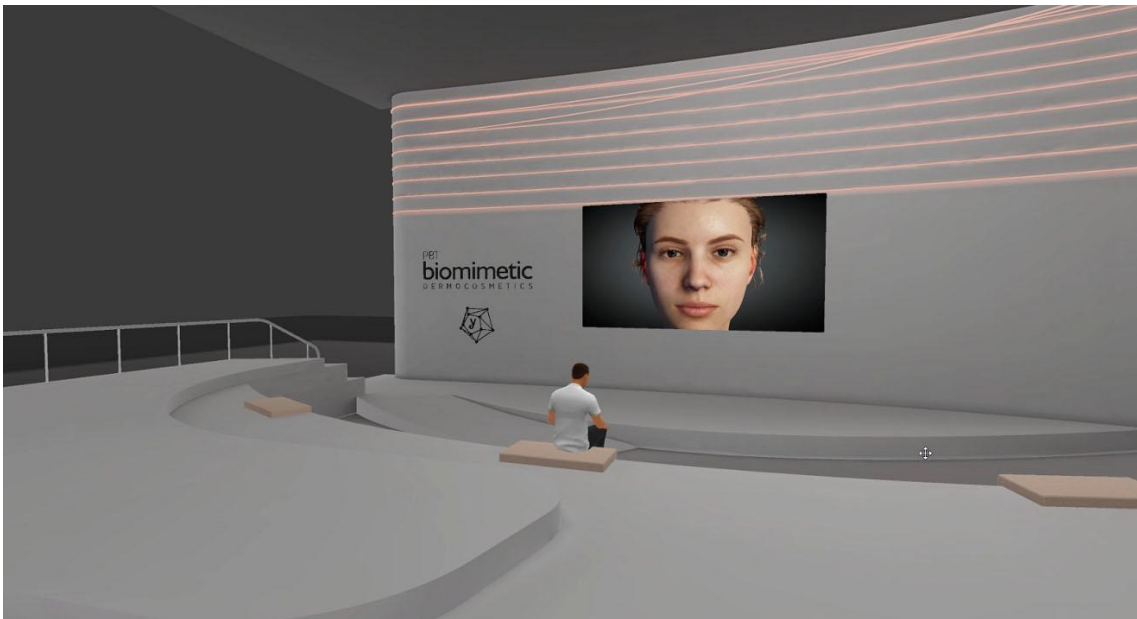


Fig. II-17: Vista del auditorio del stand de Biomimetic.

2.3. Conclusiones.

Las teorías modernas del diseño siguen siendo significativas a la hora de diseñar objetos y espacios, por lo que la creación de espacios inmersivos para el metaverso [4] no debería estar exenta de estas directrices. A medida que la tecnología avanza, existe la oportunidad de explorar nuevas formas de crear experiencias inmersivas para los usuarios, por ejemplo, los condicionantes de diseño enfocados en el usuario pueden ayudar a los diseñadores a estructurar mejor las necesidades y a satisfacer las expectativas de los mismos, y todo esto es aplicable, necesariamente, en el metaverso.

Los parámetros de diseño de experiencia del usuario (UX) también pueden ser útiles para la creación de espacios inmersivos en el metaverso. El diseño de UX se enfoca en cómo los usuarios interactúan con una interfaz o un sistema, y persigue crear experiencias fluidas y agradables para los usuarios. Los diseñadores pueden aplicar estas teorías al diseño de espacios inmersivos para el metaverso, con el objetivo de crear experiencias que sean intuitivas y de navegación fácil.

Por último, las tipologías y reglas aplicadas al diseño de juegos también pueden ser útiles en la creación de espacios inmersivos para el metaverso [5] puesto que pueden proporcionar estrategias de carácter lúdico implementables o transformables en experiencias divertidas e interactivas para los usuarios. En resumen, los parámetros estéticos y compositivos de la modernidad son un recurso valioso, aplicable en los procesos creativos y de ideación de espacios inmersivos para el metaverso, puesto que siguen ahondando en el lenguaje visual que interviene directamente y condiciona cada experiencia inmersiva, potenciando lo atractivo y satisfactorio de la herramienta virtual, si es nuestra intención.

Capítulo 3

3. Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura.

Jover Peris, V., & Sempere Ripoll, S. (2024). Hibridación del Metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura. *Diferents. Revista De Museus*, (9), 132–147. <https://doi.org/10.6035/diferents.8194>

Este capítulo presenta uno de los trabajos desarrollados durante la investigación, la aplicación del Metaverso, la transformación digital en museos y el camino hacia el museo inteligente. La transformación digital y la integración de tecnologías avanzadas en las industrias culturales, están evolucionando para adaptarse a los desafíos del futuro. El metaverso (MV), la inteligencia artificial (IA), la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) están redefiniendo la experiencia cultural, transformando la forma en que los visitantes interactúan con las exposiciones y cómo preservamos el patrimonio.

Los museos inteligentes se caracterizan por exhibiciones interactivas, sin muestras estáticas y con experiencias inmersivas que fomentan la participación. Con IA personalizada: Chatbots y asistentes inteligentes que adaptan cada recorrido al interés del visitante. La AR y VR ofrecen historias inmersivas que dan vida a los artefactos en su contexto histórico, y la gestión digital eficiente crea plataformas en la nube que garantizan colecciones accesibles y seguras. El internet de las cosas (IoT) facilita sensores que optimizan la gestión del espacio y analizan los patrones de los visitantes.

La clave está en equilibrar tradición e innovación. La tecnología no sustituye el valor humano de la cultura; lo amplifica, conectando a más personas y asegurando que nuestras historias culturales perduren para futuras generaciones.

3.1. Introducción

La irrupción del metaverso no solo está abriendo nuevas posibilidades en la industria, también se presenta en el ámbito de la cultura. Los museos, instituciones dedicadas a la preservación y exhibición de artefactos culturales y artísticos, están comenzando a integrar tecnologías de VR y RA para crear experiencias inmersivas y accesibles desde cualquier parte del mundo. La proliferación de herramientas tecnológicas ha multiplicado exponencialmente el desarrollo de la capacidad de los usuarios para interactuar y participar con y en los medios culturales.

Este artículo se centra en cómo el metaverso está cambiando la dinámica de las visitas museísticas, ofreciendo una nueva dimensión para la interacción cultural. El metaverso no solo hace que los museos sean más accesibles, sino que también enriquece la experiencia del visitante. La capacidad de interactuar con exhibiciones de maneras imposibles en el mundo físico, como puede ser la manipulación de objetos en 3 dimensiones (3D), ofrece un nivel de experiencia sin precedentes. Tal es así que, estos artefactos, esencialmente interactivos, trastocan el equilibrio de fuerzas entre la obra y el receptor tradicional, pasando de un discurso unidireccional a una clara posibilidad de bidireccionalidad igualitaria, «el concepto de interactividad y participación guardan una relación intrínseca y profunda» (Jenkins, Henry, 2006: 25).

Las barreras geográficas y físicas se diluyen, permitiendo que todas las personas, incluidas aquellas con discapacidades, puedan participar de la cultura de los museos, «El metaverso es lo más parecido a entrar en un sueño lúcido en el que todo es posible. Se trata de la evolución a un Internet de experiencias, un paso más allá en el contenido digital. Tal vez sea el paso más importante desde la aparición del cine» [19]

Empresas tecnológicas destacadas como Meta o Apple, están invirtiendo grandes recursos en VR MV. En breve, esta tecnología estará totalmente insertada y cambiará el modo de relacionarnos con nuestro entorno, desde un supermercado, a una excavación arqueológica, pasando por cualquier evento deportivo, entre otros. La posibilidad de poder recrear gemelos digitales o cualquier espacio que podamos imaginar, sin barreras físicas o temporales, amplía las oportunidades para el arte en general y en el contexto museístico, en particular. Se señala uno de los dispositivos que más favorecen esta revolución: las gafas de VR Meta Quest 3 y Apple Vision-Pro. Gracias a estas gafas, podemos disfrutar de este tipo de experiencias virtuales como un usuario único, en el caso de la VR o como un colectivo, compartiendo las mismas experiencias con otros usuarios de cualquier parte del planeta Tierra, en el caso del Metaverso.

El concepto de museo tradicional está en juego con la integración del metaverso porque supone un desafío a la metodología museística y la dinámica de integración social mantenida hasta ahora. La relación espaciotemporal con el espectador ha sido alterada, lo que modificará el ritmo de la planificación de eventos, alterará las dinámicas de divulgación, además de multiplicar los niveles de mediación tanto por edades como por capacidades. Es por ello que el espectador pasará a ser un «usuario de la cultura». Toda una revolución significativa en cuanto al rol que podremos ejercer, puesto que el anterior se ha modificado a través de la tecnología con la que experimentaremos e interactuaremos con la cultura y el arte. Los museos del futuro serán espacios híbridos, donde lo físico y lo digital coexistan, dinamizando sus metodologías divulgativas y, en definitiva, enriqueciendo el discurso.

3.2. Hibridaciones tecnológicas en los museos

«Al igual que un cuadro trata de darnos un mensaje, en el metaverso el mensaje nos rodea y lo experimentamos en primera persona» (Martín-Blas, 2022: 48). En este artículo, analizaremos cómo las nuevas tecnologías pretenden transformar los museos, mejorando la experiencia del visitante, favoreciendo la gestión de colecciones y dinamizando la educación de sus contenidos. A continuación, se enumeran las innovaciones que permiten a los museos ser más accesibles, interactivos y eficientes. Son tecnologías como: la VR, la AR, la AI, el Internet de las Cosas (IOT), o la impresión 3D (tridimensional), el Big Data, las aplicaciones móviles, el blockchain, los NFT's, las pantallas táctiles y las pantallas interactivas.

Con todas ellas, en diferente medida, se puede incrementar el impacto en los visitantes de los museos. Algunos museos están utilizando VR para ofrecer visitas virtuales inmersivas a sus exposiciones. Los visitantes pueden explorar réplicas digitales de salas de exposición y piezas concretas, incluso desde sus hogares, como sucede en el Museo del Louvre y en el Museo Británico. Con la AR, es posible acceder de manera simultánea a niveles de información sobre cada objeto expuesto mediante dispositivos móviles o gafas AR, previamente programadas.

Por ejemplo, posibilitan visualizar reconstrucciones de edificios históricos, a la vez que leer información detallada y activan animaciones que recrean hechos concretos asociados al edificio o contexto histórico. La implementación de asistentes virtuales también es una opción interesante. Varios museos están implementando los asistentes virtuales y chatbots basados en IA para proporcionar información general a los visitantes. Estos asistentes están programados para responder a un gran número de preguntas prediseñadas y ofrecer guías personalizadas que

mejoren la interacción del visitante. Las impresoras 3D son otro recurso tecnológico perfecto para crear réplicas de cualquier pieza, independientemente de su fragilidad o accesibilidad.

Con estas reproducciones se abre la posibilidad de una interacción física sin riesgo de daño. Son tecnologías con alto valor inclusivo, particularmente del visitante discapacitado. La impresión 3D presenta buenas opciones para la restauración, fabricando estructuras de sujeción especiales, sustituyendo piezas totales o parciales de obras dañadas o en proceso de restauración, puesto que sus soluciones son precisas y con un nivel de detalle variable.

Las Meta Quest 3 son las últimas gafas de VR de Meta (antes conocida como Facebook), que se presentan como una evolución de la línea de gafas Oculus Quest. Son más ergonómicas y ligeras; representan un avance significativo en la tecnología VR; su potente y avanzado hardware y software mejoran el rendimiento y la UX con capacidades de realidad mixta (MR). Esta tecnología lidera el mercado de VR. Las Apple Vision-Pro son las gafas de MR de Apple. Este dispositivo combina las capacidades de AR y VR con una tecnología de inmersión y conectividad únicas. Con capacidades de seguimiento; pantalla de alta resolución y una total integración con el ecosistema Apple; están muy preparadas para redefinir las experiencias de inmersión y conectividad. Además, su alto precio se compensa con la curva de aprendizaje propia de esta tecnología. Ambas ofrecen nuevas oportunidades para el entretenimiento, la productividad o la educación, entre otras.

Mediante el análisis de Big Data, los museos pueden acceder a personalizar las experiencias de cada visitante, recomendando exhibiciones y actividades basadas en sus intereses particulares. Más allá del conteo de visitantes, los datos masivos proporcionan a los curadores e investigadores, información útil acerca del impacto de un contenido. Además, pueden identificar patrones de interacción y detectar sus preferencias con respecto a las obras de la colección de un museo. «El metaverso permitirá no solo explorar el conocimiento previo ya registrado en experiencias y capítulos oficiales, sino interactuar con millones de personas con los mismos gustos e intereses, donde las ideas vuelan y la innovación alcanza cotas altas» [19]. Asimismo, la tecnología blockchain o NFT puede registrar la procedencia y la autenticidad de las obras de arte, asegurando la cadena de custodia de modo transparente.

En definitiva, todas estas nuevas tecnologías están redefiniendo el rol y las actividades realizadas hasta ahora, proyectando los museos del siglo XXI al desafío de mediar la cultura para una audiencia global. La participación es una consecuencia derivada del carácter interactivo de una app, que se amplía con el metaverso.

3.3. Primeras experiencias del metaverso en los museos

El metaverso presenta un desafío al arte, la historia y la cultura. Transformar el estado físico del museo, a un mundo virtual, supone diseñarlo y programarlo correctamente, para que la experiencia del usuario, aporte nuevos conocimientos y sensaciones. El metaverso integrado en los museos es algo más que una extensión digital de su espacio físico. A partir de ahora, el diseñar y programar los modos de acceso a sus contenidos mediante la inmersión y la interactividad será un desafío para la difusión del arte, la cultura y la historia en general, tal y como la hemos percibido hasta ahora.

Podríamos decir que el metaverso plantea a los museos un nuevo concepto de mediación que se retroalimentará con los modos de aprendizaje y compromiso del público construidos en entornos virtuales, inmateriales, tridimensionales, totalmente inclusivos y sin barreras socioeconómicas ni geográficas. A todo ello, a partir de la conectividad global, el museo es

accesible sin necesidad de desplazamientos, se torna más inteligible puesto que el usuario indaga simultáneamente conectando con textos, explicaciones auditivas y recreaciones acerca de las obras de arte. Esto es posible, mediante tecnologías como la AR y la VR que superan las limitaciones del espacio físico. Las herramientas interactivas del metaverso pueden mejorar la educación y el compromiso del público, haciendo que el aprendizaje sea más atractivo y accesible. Otra posibilidad para la educación y el entretenimiento, es la creación de gemelos digitales de sus colecciones, para realizar análisis detallados y catalogar digitalmente, las obras de arte. «El metaverso permite resignificar, es decir, otorgar nuevos significados y roles a objetos, personas, lugares y acciones dentro del entorno del museo y convirtiéndolos en elementos activos de la narrativa del juego» [30].

Destaca el Museo Metropolitano de Arte de Nueva York que lanzó recientemente una experiencia de RA: *The Met Unframed*, que permitía a cualquier usuario interactuar libremente con piezas emblemáticas desde sus dispositivos móviles. En el territorio nacional destacamos dos centros: *Bombas Gens Centre d'Arts Digitals* de València y el Museo de Bellas Artes de Gran Canaria. El primero se erige como un espacio cultural especializado en la exhibición y difusión de proyectos mediante tecnología de carácter inmersivo y audiovisual, que conecta la escena artística y la tecnológica de manera no compartida. El segundo alberga la Sala Metaverso Isla de Arte, creada en la plataforma *Spatial.io*, donde se pueden apreciar las principales obras del museo de forma virtual y de manera compartida. La plataforma colectiva *Spatial.io* admite la interacción entre usuarios dentro de un espacio donde podemos definir nuestro propio avatar y con herramientas de socialización como son los chats de texto y voz. Tiene muchas aplicaciones para relacionarse en comunidad, realizar reuniones y conferencias virtuales, asistir a eventos y ferias comerciales porque ofrece una interacción más dinámica y visual comparada con las vídeollamadas tradicionales. Es ideal para equipos de trabajo en el ámbito de la arquitectura, interiorismo y diseño que trabajan con modelos 3D, permitiendo la revisión y modificación colaborativa de prototipos y diseños. Facilita la comunicación de ideas complejas y anticipa la identificación de los posibles problemas antes de la construcción. Esta tecnología es de carácter sostenible. Los avatares realistas y las herramientas interactivas mejoran la comunicación no verbal y la expresión de ideas. La naturaleza inmersiva y gamificada de *Spatial.io* aumenta el compromiso de los participantes. Los entornos virtuales personalizados y las interacciones naturales hacen que las reuniones y eventos sean más atractivos.

El Museo de Arte Metropolitano (MET), de la mano de Verizon, ha puesto en marcha *Réplica* (Verizon et al., 2023) una app basada en RA con la que a los usuarios escanean obras como, por ejemplo, una armadura japonesa de principios del siglo XIV o el sombrero de paja de Vincent van Gogh de su icónico *Autorretrato* de 1887, para posteriormente vestir sus avatares en el espacio inmersivo de Roblox. Una vez descargada la app, los usuarios pueden acceder al mapa del museo para encontrar las obras de arte, aprender sobre las diferentes piezas y coleccionarlas digitalmente de forma gratuita. En este sentido, cada una de las treinta y siete piezas disponibles en *Réplica* se ha inspirado en la vasta colección del museo, compuesta por 1,5 millones de objetos. Desde la plataforma, se disfruta de versiones virtuales de la icónica fachada del MET y otros espacios del museo. Asimismo, se invita a los usuarios a crear combinaciones de artículos y accesorios y presentar sus avatares en vitrinas, como si de un museo tradicional se tratase, para que sean votadas. Además, se pueden tomar fotografías en espacios de fotomatón inspirados en las colecciones del MET sobre Grecia, Roma, Egipto y muchas de las pinturas europeas.

Por su parte, el Smithsonian Open Access, ha puesto a disposición del público más de 2.8 millones de imágenes y datos en línea, permitiendo a los usuarios explorar y descargar contenido de manera gratuita. La plataforma *Google Arts & Culture* permite realizar visitas virtuales a

museos de todo el mundo, explorar colecciones y participar en actividades interactivas. «La combinación real y virtual posibilitará la aparición de muchos espectáculos donde la limitación está más en la imaginación que en la capacidad técnica, ya que prácticamente todo será posible» (Martín-Blas, 2022: 110). A raíz de las restricciones impuestas por la pandemia del COVID-19, los museos han buscado nuevas fuentes de ingresos, como entradas virtuales, suscripciones y merchandising digital.

Sin embargo, no todos los potenciales visitantes tienen acceso a la tecnología necesaria para participar en el metaverso. Es necesario el uso de dispositivos móviles avanzados o gafas de VR, de elevado coste. Además, el desarrollo y mantenimiento de entornos virtuales aún es costoso y requiere de inversiones significativas. Por otro lado, las cuestiones de protección de datos y la privacidad de los usuarios en entornos virtuales son de prioritaria importancia y se presentan ciertas vulnerabilidades susceptibles de ser subsanadas a corto plazo en la aplicación masiva de estas tecnologías. Es necesario indicar que, para la realización de talleres de MR, existen ya aplicaciones que nos ofrecen la posibilidad de pintar y diseñar virtualmente, sobre modelos reales. Las más conocidas son: Gravity Sketch, Tilt Brush, Adobe Medium, ShapshotVR, Arkio o SculptVR,

Por último, en el ámbito educativo, las gafas de RV, con su tecnología de seguimiento y gráficos mejorados, proporcionan una plataforma excelente para una variedad de aplicaciones de dibujo e ideación. La recreación de obras bidimensionales adquiere una tercera dimensión, con todo tipo de detalles, textura y color. Estas herramientas posibilitan dibujar de manera intuitiva y creativa. Para el ámbito de la restauración, facilitan la colaboración y la visualización de proyectos en una escala y detalle que las herramientas tradicionales no pueden igualar. Con el continuo desarrollo de aplicaciones y la mejora de la tecnología VR, las posibilidades para el diseño en Meta Quest 3 seguirán expandiéndose. Diseñar entornos ergonómicos, mantener la autenticidad con los referentes, así como cuidar el valor educativo de las experiencias virtuales, puede ser un desafío, especialmente en la reproducción de detalles y la interacción con las obras.

En resumen, el metaverso ofrece a los museos oportunidades, todavía por descubrir, no solo para transformar la manera de percibir y aprender el arte, sino para perpetuarse y expandirse como instituciones culturales en la era digital. Como hemos indicado, Spatial.io nos proporciona espacios online en los que configurar cualquier espacio 3D e integrar nuestro propio avatar, para luego compartir experiencias con otros usuarios. Podemos crear desde videojuegos, a espacios expositivos donde mostrar las obras de arte. Ver Fig. III-1.

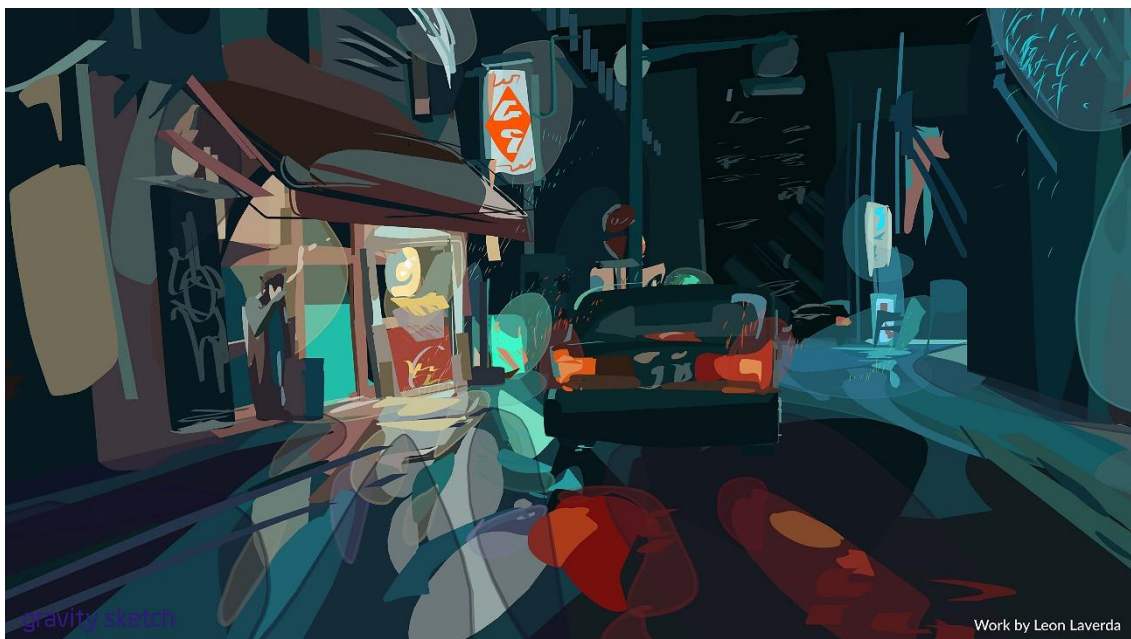


Fig. III-1 Ilustración realizada por León Laverda con Gravity Sketch. Fotografía: León Laverda.

El concepto del museo está evolucionando con el metaverso. Es fascinante el potencial que plantea la nueva combinación de ambos, la experiencia artística se amplía con la tecnología digital. Es realmente emocionante constatar la rapidez con la que se está transformando la forma tradicional de disfrutar y aprender acerca del arte. Fig. III-2.

Si bien, no se plantean como sustitutos de los propios museos o incluso de las galerías de arte, sí son una alternativa sostenible para aprender a distancia, en cualquier momento y promover nuevos compromisos con la cultura.



Fig. III-2 Interior de una sala de un museo realizado para Spatial.io. Fotografía: Vicente Jover.

En este artículo, para entender la naturaleza del MV, se describe la tecnología y la metodología aplicada a un caso real. El caso de referencia es el museo virtual del artista plástico Igor Issacovitch, un proyecto de colaboración con la familia del artista y la empresa especializada en museos Mudit.org, que ha sido materializado por Vicente Jover de Rendersim, empresa especializada en VR, AR y MV.

El proyecto ha sido comisariado y dirigido por Xavier Ferrer de Mudit.org, ha planificado la metodología de divulgación, la estructura del material aportado por la familia y diseñado el espacio del museo para el artista Igor Issacovitch (1963-1993), contemporáneo de la movida madrileña de los años 80. Este proyecto, de carácter privado, trata de preservar en el tiempo su contenido y permitir su divulgación, preservando el contenido, de manera controlada.

La metodología empleada para la creación del espacio inmersivo, así como el trabajo realizado para la selección y ubicación de su obra en el museo virtual, se exponen brevemente a continuación. Este artículo se engloba dentro de una tesis de estudio, que tiene por objeto diseñar un manual de buenas prácticas para la creación y elaboración de espacios inmersivos. Es común, en el diseño de este tipo de espacios, no tener en cuenta reglas básicas de composición de la forma, del color y de la iluminación, que tiene como resultado el diseño de espacios poco ergonómicos, lo que influye en una experiencia poco atractiva para el usuario. Es oportuno señalar las posibilidades de aplicación de esta misma tecnología al metaverso citando el Espacio Metaverso del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València, creado para el acto conmemorativo del 50 Aniversario «Campus d'Alcoi 1972/2022 UPV» con imagen gráfica de Silvia Sempere y desarrollado por Vicente Jover de Rendersim.

Por tanto, con este artículo, pretendemos exponer los aspectos técnicos y formales necesarios para la virtualización de la obra en un museo, que puede ser también virtual.

3.4. Metodología de elaboración.

Los espacios inmersivos 3D son entornos virtuales que utilizan tecnologías avanzadas para crear experiencias de aspecto hiperrealista y envolventes. Estos espacios pueden simular entornos físicos o imaginarios. Estos espacios altamente realistas se consiguen gracias al empleo de gráficos de alta calidad y simulaciones físicas precisas de los objetos. Son espacios donde el usuario obtiene una interactividad en tiempo real y, mediante el uso de tecnología de seguimiento, el entorno se adapta en función de sus movimientos y sus acciones. Todo esto se potencia con la aplicación de un audio espacial envolvente y retroalimentación táctil, aumentando la sensación de presencia en el escenario.

Estos espacios pueden ser considerados de VR, si el usuario interactúa con bots virtuales exclusivamente o Metaverso o si son espacios compartidos con otros usuarios reales, lo que permite la colaboración e interacción múltiple que facilita la socialización mediante el uso de chat de texto y de voz. Además, en estos espacios del MV el usuario puede editar su propio avatar, posibilitando personalizar cualquier identidad en el entorno visual.

Para el diseño y creación de estos espacios inmersivos, es necesario poseer una formación avanzada en software para modelado 3D y edición de texturas como: Autodesk 3D Studio Max, Adobe Photoshop, Unity o Unreal. Todas ellas son aplicaciones que se emplean para crear gráficos fotorrealistas y entornos interactivos, así como para aplicaciones VR y AR, por su flexibilidad y capacidad de integración. Se aplica sobre todo al sector del videojuego, al cinematográfico y a medios de comunicación, en el ámbito médico es muy útil para tratamientos de fobias y rehabilitación psíquica y física-virtual, en el ámbito del marketing para experiencias de productos, ferias y catálogos virtuales. Por último, también se incluye la aplicación en el ámbito de la arquitectura y en el interiorismo.

En un mismo espacio es viable combinar modelos 3D, con diferentes texturas, imágenes y vídeos, para luego integrarlos junto con animaciones 3D. De esta manera el avatar creado por un usuario se podrá desplazar libremente gracias al aspecto inmersivo conseguido en el espacio diseñado. El modelado 3D del museo virtual, se realizó empleando 3D Studio Max, un software profesional de modelado, animación, renderización y composición en 3D desarrollado por Autodesk. Como

ya se ha indicado, es ampliamente utilizado en diversos campos como la arquitectura, el diseño de interiores, la producción de videojuegos, la creación de efectos especiales para películas y la visualización de productos. En esta ocasión, se ha utilizado la técnica del modelado poligonal, partiendo de varias fotografías de la ubicación real, puesto que no se disponía de planos de Autocad. Teniendo en cuenta la fluidez online del escenario final, se ha realizado un cuidado trabajo con formas primitivas de bajo peso poligonal.

Esta técnica se basa en la creación de objetos tridimensionales mediante el uso de polígonos (puntos, rectas y planos) y ofrece herramientas para extrusión, biselado, corte, división y ajuste de los elementos del polígono.

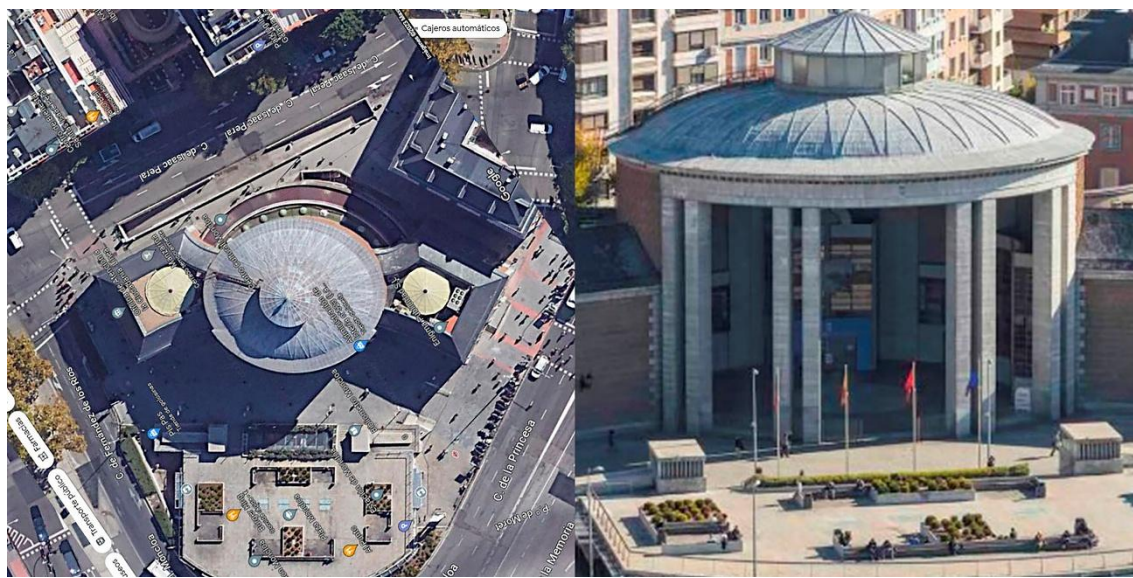


Fig. III-3 Ejemplos de fotografías utilizadas para el modelado 3D. Fotografía: Google Maps.

De esta manera, es posible la creación de modelos detallados de edificios, de sus interiores y de las urbanizaciones mejorando la presentación y la planificación arquitectónica, con un peso (en megabytes) poligonal bajo. A partir de las fotografías y empleando Adobe Photoshop, se trataron digitalmente, para crear las texturas de los modelos 3D (Fig. III-3). Una vez reproducidas las imágenes, las texturas se mapean con la técnica UV mapping. El mapeo UV es necesario para aplicar texturas correctamente sobre modelos poligonales y el programa 3D Studio Max está dotado con las herramientas necesarias para desarrollar y ajustar las coordenadas UV sobre cualquier modelo. Fig. III-4 a Fig. III-8.

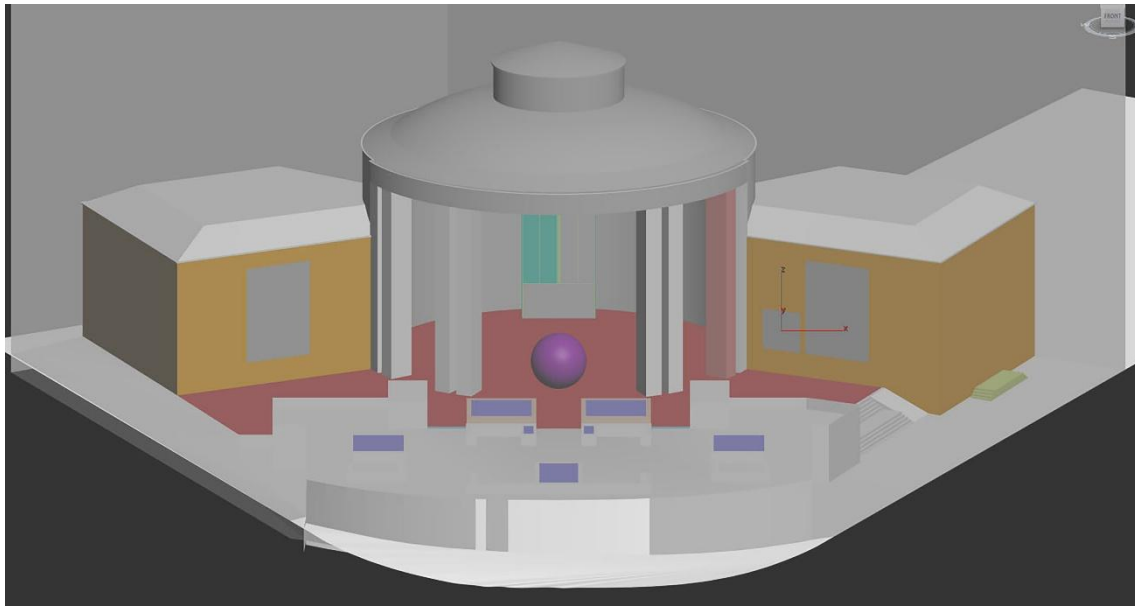


Fig. III-4 Ejemplo final del modelado poligonal de Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.

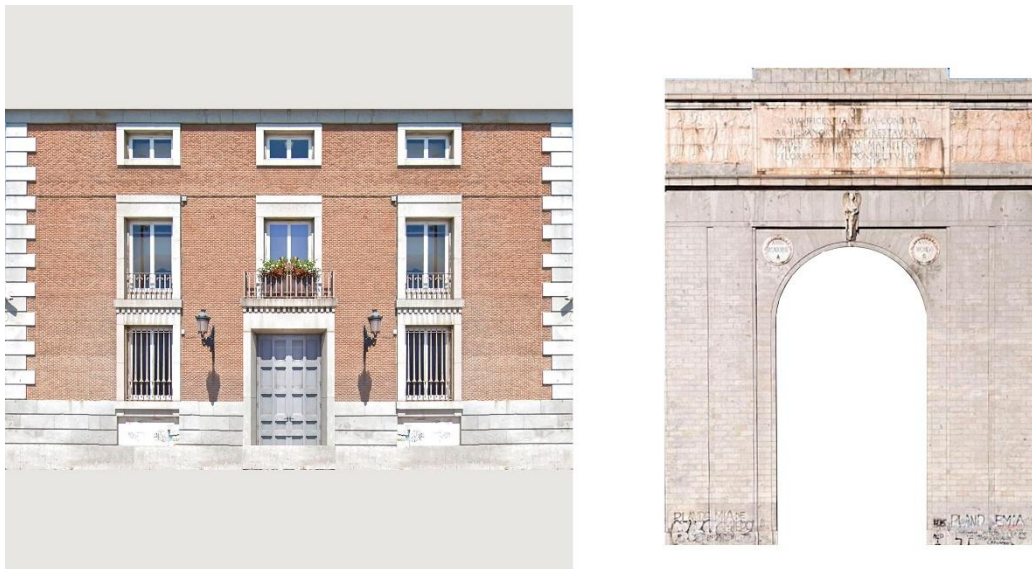


Fig. III-5. Texturas retocadas para ser aplicadas en los modelos 3D.

Mediante esta técnica de modelado poligonal y uv mapping, se construyeron los exteriores y se diseñó el interior según el Centro Cultural de Moncloa con distintas salas.

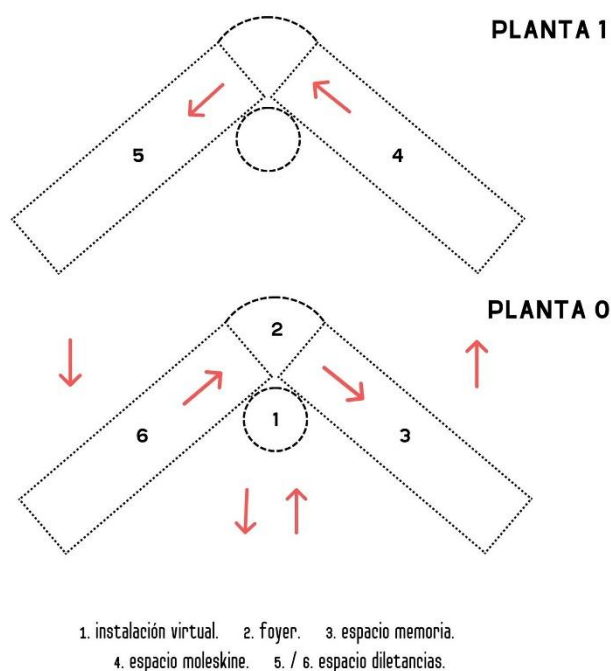


Fig. III-6. Cartel anunciador como mapa de ubicación del museo.

Para que el modelado pueda exportarse a Spatial (espacios con baja carga poligonal y mapeados fotorrealistas), la plataforma ofrece plantillas con las que trabajar desde Unity. Unity es una plataforma de desarrollo con un motor de juego multiplataforma para la creación de videojuegos en 2d, 3d, AR VR. Así, los desarrolladores crean experiencias interactivas exportables a una variedad de dispositivos de salida, incluidas consolas, computadoras, dispositivos móviles o la web. Además de la exportación de proyectos a múltiples plataformas, incluyendo iOS, Android, Windows, macOS, Linux, PlayStation, Xbox, Nintendo Switch, y navegadores web. Por último, hay que indicar que tiene soporte para AR y VR en dispositivos como gafas Meta Quest 3 o Apple Vision-Pro, HTC Vive, PlayStationVR, y HoloLens. Por todo esto, Unity se ha convertido en una herramienta fundamental en la industria del desarrollo de software interactivo.



Fig. III-7. Vista exterior del modelado 3D del museo Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.



Fig. III-8. Vista exterior del modelado 3D del museo Moncloa. Fotografía: Vicente Jover.

Una vez se han definido los espacios 3D texturizados en Unity, con sus funciones interactivas (apertura de puertas, mecanismos de desplazamiento para subir y bajar las distintas plantas del museo, vídeos de activación por proximidad del usuario, etc.) se ha exportado a la plataforma de Spatial.io. Uno de los objetivos de divulgación de este proyecto ha sido publicar el espacio del museo Igor en esta plataforma. Ya se ha indicado que esta plataforma ofrece herramientas de interconexión online con otros usuarios, en tiempo real y de avatarización de personajes a partir de fotos de cada usuario, además de ofrecer mecanismos para la socialización como el chat de texto y de voz. Las interacciones pueden ser tanto en AR como en VR, esto es en sí, lo que completa la experiencia inmersiva.

3.5. Aplicaciones colectivas de Spatial.io

Se ha utilizado Spatial.io, por su versatilidad en la construcción de espacios inmersivos, donde las herramientas de avatarización y socialización están integradas. Dentro de todas las posibilidades que nos ofrece, se han utilizado las herramientas multimedia para la inserción de las obras de Igor y los vídeos explicativos. Se han implementado los teletransportadores, para una rápida movilidad de los usuarios por el escenario, así como la animación de apertura de puertas por proximidad del avatar. Con todo esto, el resultado ha sido un museo virtual, que abre nuevas vías de relación en los museos.

Relación Museo/Museo: Se mejora la interacción entre museos en la creación de exposiciones y en el préstamo de obras.

Relación Usuario/Museo: Se amplifica la experiencia del usuario y se presta a una ininterrumpida exposición de la obra, aun estando en proceso de restauración.

Relación Usuario/Usuario: Se facilitan las interrelaciones entre personas de todo el mundo con respecto a la obra, lo que amplía su divulgación.

Relación Usuario/Artista: Se amplía el conocimiento del artista y su obra al usuario.

Relación Artista/Cliente: Para el artista, se abre otro canal de venta y promoción comercial de la obra de arte.

El museo virtual se publicó el pasado mes de julio de 2023, con gran número de seguidores e interesados en la obra de Igor Issacovitch. Por petición expresa, se ha eliminado el enlace al proyecto en esta publicación. Ver Fig.III-9 y Fig.III-10.



Fig. III-9. Vista Interior del museo 3D de Igor Isaacovitch. Entrada. Fotografía: Vicente Jover.



Fig. III-10. Museo Virtual de Igor Isaacovitch. Escaleras flotantes. Fotografía: Vicente Jover.

3.6. Conclusión

El mv amplía las posibilidades divulgativas y de investigación de los museos, pudiendo transformar la forma en que los visitantes acceden a los contenidos y colecciones del museo, lo que implica al arte, la historia y la cultura en general. Democratiza el acceso de todas las personas al quedar entablada la relación en el espacio digital. Es potencialmente adaptable, por lo que lo convierte en inclusivo ante las diferencias de edad, capacidad o discapacidad física. Los visitantes pueden disfrutar de experiencias inmersivas en 3D con las que explorar exhibiciones de manera interactiva, y simultanear el tacto y la visualización de objetos virtuales desde diferentes ángulos, además de obtener información adicional.

Algunos museos comienzan a hibridar en sus programaciones lo que el metaverso les ofrece con la RA, la VR y la realidad holográfica para ofrecer emocionantes exhibiciones. El mv tiene el potencial de revolucionar la forma en que los museos operan y se relacionan con sus visitantes, que en un futuro cercano llegarán a ser audiencias. Esto nos anuncia la transformación de la percepción del arte y de la cultura, como consecuencia de la interactividad y la inmersión. El mv es un espacio sostenible, que amplía la difusión del conocimiento y potencia las experiencias de fuerte componente emocional, también enriquecedoras al usuario.

El concepto de museo tradicional está en jaque con la integración del metaverso porque supone un desafío a la metodología museística y a la dinámica de integración y mediación social mantenida hasta ahora. La relación espaciotemporal ha sido alterada, lo que modificará el ritmo y las dinámicas de divulgación a distintos niveles y para todas las capacidades. El espectador de la cultura se está transformando porque asume un rol diferente: el de usuario de la cultura. Esto supone una revolución, puesto que ese rol se ha modificado a partir de esta tecnología. Es necesario, por tanto, comprender su potencialidad al servicio de la cultura, para diseñar la estructura visual y conceptual de mediación, en pro de la creación adecuada de contenidos virtuales en los museos. Los museos del futuro serán espacios híbridos, donde lo físico y lo digital coexistan. La hibridación inteligente mantendrá su liderazgo en esta, no tan incipiente, era digital.

Capítulo 4

4. Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil.

Jover, V.; Sempere, S.; Ferrándiz, S. The Creation of Virtual Stands in the Metaverse: Applications for the Textile Sector. Electronics 2025, 14, 359.
<https://doi.org/10.3390/electronics14020359>

Este estudio investiga el uso del Metaverso en el diseño de stands para ferias comerciales, centrándose en la exhibición de productos del sector textil, especialmente telas de tapicería. Su objetivo es mejorar la interacción entre fabricantes y clientes mediante entornos virtuales, en el contexto más amplio de la Industria 5.0, con énfasis en el diseño y la participación del usuario. La metodología busca ampliar las funcionalidades de los stands físicos tradicionales y ofrecer una alternativa efectiva para la promoción y venta de productos textiles. Se utilizó la plataforma Spatial.io y su Spatial Toolkit, que permite una edición eficiente de escenarios tridimensionales, a pesar de las limitaciones de acceso a las capacidades completas de Unity. A través de programación efectiva, se incorporó un selector de texturas que permite a los usuarios visualizar dinámicamente diferentes opciones de telas. El stand virtual diseñado se alineó con las especificaciones del cliente, aplicando principios de diseño moderno y estructuras simples. Este stand fue evaluado en la Feria Habitat en Valencia 2024, y los resultados indican un prometedor potencial de estas tecnologías emergentes para mejorar las capacidades del sector textil.

4.1. Introducción

Alcoy, una ciudad con una población de aproximadamente 65,000 habitantes, se encuentra en la región norte de la provincia de Alicante, España. Desde el siglo XV, Alcoy ha sido un referente en la industria textil, especializándose en la producción de mantas, alfombras, productos de lana y tejidos industriales. La calidad de estos productos fue históricamente regulada por estándares de gremio y certificada en la Casa de la Bolla, que emitía un sello distintivo para garantizar su origen alcoyano. En el siglo XIX, el establecimiento de la Real Fábrica de Paños (RFPa), conferida con el estatus de "Real" por el Rey Carlos IV, se estableció como la primera institución de educación técnica textil. Esta institución evolucionó más tarde en la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, que ahora funciona como el Campus de la Universidad Politécnica de Valencia.

Desde la segunda mitad del siglo XVIII, la RFPa implementó estrategias de modernización que incluían la contratación de expertos extranjeros e integración de avances tecnológicos. Sin embargo, a finales del siglo XX, la industria textil local experimentó un declive debido a la intensificación de la competencia internacional y la externalización de la producción. Para abordar estos desafíos, se estableció el Instituto Tecnológico Textil AITEX en 1985. Hoy en día, AITEX se erige como una de las principales instituciones de Europa en investigación textil y cosmética, ofreciendo apoyo a las empresas en la modernización y especialización de sus procesos de producción.

Esta investigación se centra en la aplicación de tecnologías emergentes como la VR y el MV en el diseño de stands virtuales para ferias promocionales, [32,33] con un enfoque en el sector textil. El estudio tiene como objetivo abordar las limitaciones de los stands físicos tradicionales, incluidos los altos costes de producción, el tiempo de uso reducido, la baja afluencia de

visitantes, las consideraciones de diseño inadecuadas y el consumo significativo de energía y materiales. La adopción de tecnologías de VR y MR ha mostrado beneficios en diversos sectores, mejorando tanto los flujos de trabajo profesionales como las experiencias de usuario (UX).

Industrias como el turismo, el comercio electrónico (por ejemplo, ropa y accesorios), bienes digitales (por ejemplo, NFTs) y la gestión de eventos (por ejemplo, ferias comerciales, bienales de arte, desfiles de moda, congresos, conciertos) están integrando cada vez más estas tecnologías. La arquitectura, la construcción y el diseño de interiores también están aprovechando la VR y la MV para explorar innovaciones de diseño sin las limitaciones de las leyes físicas. En el turismo, la integración de la VR y la AR con otros elementos digitales, refs. [34–39], puede ofrecer experiencias multisensoriales en destinos turísticos. Esta evolución de las tecnologías digitales permite realizar recorridos virtuales inmersivos, experiencias previas al viaje real y recibir o proporcionar asistencia personalizada a través de avatares o asistentes virtuales para la planificación de itinerarios; en resumen, contribuye a la gamificación del turismo. El usuario también puede participar en cualquier evento y/o congreso. La realidad virtual se está implementando gradualmente como una herramienta para la promoción y el marketing de muchos destinos turísticos.

El acto de viajar se está modificando al añadir experiencias inmersivas. Se presenta una gama completa de experiencias previamente desconocidas, permitiendo a los visitantes descubrir territorios y países sin tener que viajar en absoluto. Esto ha llevado a la aparición del “turismo pasivo”, permitiendo a las personas explorar destinos virtualmente mientras mantienen el interés en la diversidad cultural. En el sector hotelero [40–43], particularmente en hoteles de lujo, las posibilidades de planificación y reserva virtual están comenzando a multiplicarse debido a la oferta de recorridos virtuales por los alrededores del hotel. Los huéspedes pueden mejorar su experiencia a través de interacciones habilitadas por AR con las instalaciones, menús y datos históricos.

En el campo de la arquitectura [44], los arquitectos y diseñadores de interiores pueden explorar y experimentar con entornos virtuales (EV) sin las limitaciones físicas del mundo real. En el MV, los edificios y entornos pueden ser diseñados completamente de manera digital. El hecho de que no haya obligación de considerar las leyes físicas libera el proceso de diseño de las limitaciones estructurales y económicas específicas de cada disciplina que estas enfrentan a diario. Ofrece la posibilidad de repensar el concepto de espacio habitable y transitable, de modo que los proyectos pueden ser más creativos y altamente experimentales, como en el caso del equipo de Zaha Hadid Architects que ha diseñado espacios experimentales en el MV a través de la plataforma Liberland para Decentraland. La arquitectura en el MV no solo permite pensar, crear y diseñar espacios digitales para plataformas virtuales, sino que también ofrece experiencias de los prototipos y modelado de sus proyectos para satisfacer la curiosidad y anticipar la visita a un futuro hogar, gracias a los acabados fotorrealistas que estas tecnologías permiten. Por otro lado, facilita la evaluación, confrontación y validación de resultados a través de las posibilidades de conexión global, en tiempo real, con cualquier equipo y en cualquier parte del mundo. Así, algunas oficinas de arquitectura y empresas de construcción ya han implementado esta tecnología para mostrar información de modelado de edificios (BIM), el proceso de construcción y su posterior monitoreo. Además, el MV sirve como un laboratorio de pruebas, donde se pueden experimentar soluciones de sostenibilidad e incluso se pueden probar nuevas tecnologías de construcción sin las limitaciones de tiempo, costo o impacto ambiental. Por ejemplo, es posible diseñar estructuras utilizando materiales sostenibles y simular el impacto de su ejecución en el entorno inmediato y/o el medio ambiente, antes de materializarlas en el mundo real.

Se esperaba que MV influyera en el sector de la construcción [45] con sus herramientas y soluciones digitales que pueden mejorar las etapas de diseño, planificación, ejecución y mantenimiento de proyectos de construcción y tradicionales. Aunque todavía se encuentra en una etapa temprana en este sector, la integración de tecnologías relacionadas con MV, como la VR, AR, los DT y el modelado 3D, está revolucionando la forma en que las empresas de construcción abordan los proyectos. Con los gemelos digitales, representaciones virtuales precisas de un edificio o infraestructura en tiempo real asisten a los equipos de construcción en el proceso antes (prediciendo condiciones climáticas y mejorando la eficiencia energética), durante (visualizando el proceso de construcción de manera optimizada, anticipando problemas para gestionar los recursos de manera más eficiente y minimizando errores costosos) y después (monitoreando el edificio para la apertura de puertas, detección de fugas, activación de alarmas, etc.).

Vinculado al sector anterior, el diseño de eventos y otros espacios culturales está comenzando a marcar caminos profesionales entre arquitectos y diseñadores de interiores, que se están especializando en entornos digitales. Dentro del MV, han surgido espacios culturales tradicionales como museos, bienales, galerías de arte o salas de conciertos. Estos nuevos entornos también permiten la organización de exposiciones, eventos y actuaciones sin las limitaciones relacionadas con la ubicación, el espacio y el tiempo del mundo físico.

Como ejemplo, podemos citar el catálogo de estrategias arquitectónicas flexibles aplicadas a proyectos que transgreden las fronteras espacio-temporales. Se presentó en la 17ª edición de la Exposición Internacional de Arquitectura, que incluyó la Biennale di Venezia 2020, y las exposiciones virtuales que fueron diseñadas específicamente para los visitantes del MV en 109 en la Bienal de Arquitectura de Venecia 2021. Ambas experiencias proponen nuevas formas de coexistencia, con implicaciones ambientales y sociales más amplias y ambiciosas basadas en estas tecnologías.

Las gafas inteligentes se utilizan en estas áreas [46]. El desarrollo de productos en el campo de la óptica converge directamente con MV. Esta tecnología está provocando una transformación integral en el sector óptico [47], ofreciendo soluciones tanto para profesionales como para consumidores. Dispositivos como Meta Quest (anteriormente Oculus), Ray-Ban Stories, Google Glass o Apple Vision Pro están cerrando la brecha entre el mundo físico y digital. No solo prospera en experiencias de compra inmersivas (a través de tecnologías de VR y AR, los clientes pueden entrar en tiendas ópticas en entornos completamente digitales y comportarse como en una tienda en la realidad), sino que también propone nuevas formas de capacitación (la recreación de escenarios clínicos para profesionales ópticos) y, con tecnologías avanzadas como las gafas inteligentes, la interacción entre la óptica y el MV abre un número de oportunidades para mejorar los servicios y la experiencia del usuario.

El sector minorista también ha adoptado el MV y lo utiliza para fomentar la interactividad y probar productos antes de su lanzamiento [48–51]. Esta creciente tendencia aprovecha el VE para conectar con los consumidores. Así, a medida que plataformas como Decentraland, The Sandbox y versiones de MV desarrolladas por grandes empresas tecnológicas como Meta (anteriormente Facebook) ganan popularidad, las marcas atentas están explorando todas las formas de interacción que tienen para ofrecer.

Este tipo de marketing utiliza experiencias virtuales y contenido interactivo para crear publicidad y otros servicios digitales instalados dentro de estos espacios o escenarios descentralizados [52–56]. Una de las formas más populares de marketing en el VM es la tienda virtual. Las marcas pueden diseñar tiendas virtuales en 3D, donde los usuarios a través de sus avatares pueden explorar, probar y comprar. productos en entornos completamente digitales, que luego son

entregados por mensajería a sus hogares en la vida real. Marcas de lujo como Gucci y Balenciaga han implementado con éxito líneas de moda digital dentro de plataformas de juegos como Roblox y Fortnite. Este campo está comenzando a demostrar beneficios, particularmente en términos de lealtad. Se ha demostrado que nuevas formas de interactuar con los consumidores y clientes son más atractivas porque son más cercanas, más directas y más personalizadas [57,58].

Estas tiendas replican y mejoran la experiencia física al permitir a los clientes explorar todas sus colecciones y comprar sus productos en tiendas reales y virtuales. Marcas importantes como Tommy Hilfiger y Ralph Lauren han abierto las puertas de sus tiendas en la plataforma MV Decentraland, donde los avatares pueden caminar por las tiendas, probarse ropa y comprarlas, tanto digital como físicamente. Los desfiles de moda en el MV permiten a las marcas presentar sus colecciones de una manera más accesible y democratizada.

Además, la moda digital, las prendas y los accesorios disponibles únicamente en entornos virtuales han ganado atractivo. Estos activos digitales, en forma de NFTs, son a menudo exclusivos y de acceso limitado, lo que aumenta su valor dentro de la realidad virtual y las plataformas de juegos. En 2023, Samsung ofreció una skin gratuita dentro del juego Fornite (ver Fig. IV-1) por la compra de su último modelo de móvil. Las ventas en este sector aumentaron en un 20%. El mismo concepto del entorno virtual conduce a la venta de productos puramente digitales, como NFTs (tokens no fungibles) de arte, moda o cualquier bien que pueda ser integrado y disfrutado de manera inmersiva. El comercio de bienes digitales, como NFTs o productos virtuales, de naturaleza exclusiva, abre nuevas líneas de negocio para las marcas más allá de los productos físicos, apelando a una audiencia joven y conocedora de la tecnología. Los NFTs son especialmente populares entre la generación de los Millennials y la llamada Generación Z o GenZ, que han desarrollado conocimientos tecnológicos sobre la VR o AR, en comparación con generaciones anteriores [59–61].



Fig. IV-1. Detalle del juego Fornite y su skin de Samsung.

En paralelo a esta investigación, en la industria de la moda [62], el MV ofrece nuevos métodos para la interacción diseño-compra. Las marcas de moda están explorando cómo aprovechar la VR, la AR, los DT y las experiencias inmersivas para crear nuevas oportunidades comerciales y redefinir continuamente la relación entre las personas y la moda. También están desarrollando

experiencias de prueba virtual, donde los usuarios pueden ver cómo se ven las prendas en sus cuerpos a través de la tecnología AR. Esto está comenzando a estar disponible tanto en tiendas en línea como dentro de las plataformas de MV. Todo esto también hace posible conectarse a eventos de la industria, de modo que los usuarios pueden asistir a todo tipo de desfiles de moda, más o menos exclusivos, independientemente de su ubicación física. Los eventos de moda virtual [63], que incluyen desfiles de moda, lanzamientos de colecciones y exposiciones, ya son accesibles a una audiencia global [64]. La ruptura de las barreras espacio-temporales indica el cambio gradual e inexorable de los eventos en persona.

Así, la plataforma Decentraland organizó la primera Semana de la Moda en el Metaverso en 2022, donde marcas como Dolce y Gabbana, Etro y Elie Saab presentaron colecciones de moda digital a una audiencia masiva, diversa y multicultural, yendo más allá del papel de meros espectadores para participar directamente en el evento. Una de las ventajas de la moda digital es que reduce la necesidad de producción física; siguiendo el carácter eminentemente sostenible de la realidad inmersiva, esta tecnología aplicada aumenta la responsabilidad social [65]. Las marcas pueden crear experiencias innovadoras que refuercen su imagen en un nuevo entorno virtual que está en constante evolución. Esto sucede porque una interacción más directa entre la marca y el usuario favorece la mejora de productos y servicios de manera más continua. Es inevitable que el proceso de compra se convierta en algo más que una simple selección de productos [66].

Así es como el MV y la AI [67] están redefiniendo el futuro de la moda. Desde la creación de prendas digitales exclusivas hasta la posibilidad de experimentar desfiles de moda virtuales, la moda en el MV ya es, en sí misma, una plataforma creativa y dinámica que obliga a cada sector que la visita a estar en constante evolución. Este artículo se centra en la aplicación de la tecnología MV [68,69] dentro del sector textil, específicamente para la empresa Manissa, con sede en Alcoy, que se especializa en tapicería.

Nuestra intención es crear un caso de aplicación real para mejorar la exposición de sus productos, sus ventas y su relación con sus clientes. Las empresas textiles como Manissa invierten muchos recursos en diseñar sus stands promocionales en ferias. La naturaleza efímera de los stands hace que la inversión no sea rentable debido a la cantidad sustancial de recursos utilizados en sus procesos de fabricación, montaje y transporte. Generalmente, tienen un corto período de utilidad, solo de 3 a 5 días en cada evento, y después del desmontaje, apenas son reutilizables en otras ferias [70,71]. Por eso, para lograr viabilidad económica, el fabricante opta por presentar stands sin ningún estudio de diseño profesional, lo que resulta en resultados excesivamente simples y poco atractivos. El sector textil se encuentra en un punto donde tanto los clientes como los proveedores de la empresa tienen que viajar miles de kilómetros para conocer los nuevos productos del fabricante, lo que es costoso y requiere una inversión de tiempo significativa. El interés de los fabricantes y los clientes en las ferias promocionales ha disminuido, y es necesario invertir en nuevas tecnologías para proporcionar nuevos beneficios a los fabricantes y atraer a los clientes. A través de la realidad virtual y su aplicación a la MV, es posible crear stands virtuales, gemelos digitales de los físicos, para resolver los problemas mencionados anteriormente [72,73]. Estas tecnologías ofrecen soluciones al permitir la creación de stands virtuales que trascienden las limitaciones físicas, proporcionando a clientes, proveedores y usuarios acceso a productos y promociones sin necesidad de viajar. Otra ventaja es la posibilidad de definir un espacio en el stand para experiencias inmersivas. Además, se construye un nuevo canal de ventas para la marca, libre de limitaciones espacio-temporales, ya que la plataforma virtual puede seguir ofreciendo a los clientes sus productos y promociones.

En este artículo, describimos el estudio realizado sobre el diseño de stands virtuales en el sector textil y cómo la aplicación de teorías de diseño básicas ayuda a lograr una UX cómoda. La

tendencia actual es que estas tecnologías refuercen el concepto de Industria 5.0 [74], que se centra en la colaboración entre humanos y máquinas para mejorar la productividad, la creatividad, la seguridad y el bienestar de los trabajadores. Este estudio es parte de la tesis “Estudio y Mejora de Aplicaciones de Realidad Virtual a través de Técnicas de Diseño”, incluyendo “Evolución hacia la Industria 5.0”, proponiendo directrices para que cualquier usuario, independientemente de su conocimiento tecnológico y digital o sin nociones básicas de composición y diseño, pueda lograr un resultado aceptable al construir sus espacios inmersivos. Para llevar a cabo el estudio, colaboramos con la marca textil Manissa. Basándonos en nuestra experiencia y bajo su supervisión, se han utilizado las herramientas de diseño 3D más avanzadas: 3ds Max versión 2024 para modelar los stands, Unity versión 2022.3 para aplicar materiales, animaciones y definir los carruseles de cambio de textura, y la plataforma Spatial.io para publicar el contenido 3D y convertirlo en un escenario MV. Para poder contrastar los resultados, se han creado dos tipos de espacios. El primero es un gemelo digital de la marca. Es un modelo que requiere pocos conceptos y nociones de diseño, más neutral en términos de un estilo específico, y es más económico. El segundo está diseñado bajo un estudio que requiere conceptos de composición más complejos y está más vinculado a tendencias minimalistas contemporáneas. Las pruebas involucraron aproximadamente a 200 visitantes en el stand de Manissa durante la Feria Habitat en Valencia (España), celebrada del 30 de septiembre al 3 de octubre de 2024.

Después de esta introducción, el artículo se estructura en cuatro secciones: en la Sección 2, se describe la generación del escenario MV con los dos diseños de stand; en la Sección 3, describimos la usabilidad del escenario y las interacciones aplicadas.

Finalmente, en las Secciones 4 y 5, se detallan la discusión y los comentarios finales proporcionados, respectivamente.

4.2 Materiales y métodos.

4.2.1. Metodología para el Diseño de Stands Textiles Virtuales.

Las metodologías utilizadas para crear los stands virtuales (Fig. IV-2) siguen un enfoque integral para desarrollar escenarios virtuales para ferias en el sector textil y pueden servir como base para cualquier industria. Estas metodologías apoyan la creación de gemelos digitales de stands físicos, así como su rediseño. El propósito de este artículo es proporcionar una guía estructurada que describa cada fase del proceso de diseño, desde el concepto inicial hasta la entrega del producto final. Se abordan aspectos clave como la identificación de las necesidades del cliente, la selección de herramientas técnicas y la iteración constante para asegurar que el resultado final cumpla con las expectativas tanto de los usuarios como de los clientes dentro del marco MV. Este estudio enfatiza la importancia de la interacción humano-computadora (HCI), asegurando que el diseño de la interfaz sea amigable para el usuario, intuitivo y mejore la experiencia del usuario (UX). Este estudio va más allá de estos factores. Ambas metodologías comparten las mismas etapas, con la excepción de la fase inicial. Para los gemelos digitales, el cliente típicamente determina las especificaciones de diseño para su stand virtual. En contraste, en escenarios de rediseño, es el diseñador quien decide cómo será el stand. No obstante, las decisiones finales en los rediseños suelen estar sujetas a la validación del cliente antes de su publicación en la plataforma digital. Este proceso está estructurado como un sistema paso a paso.

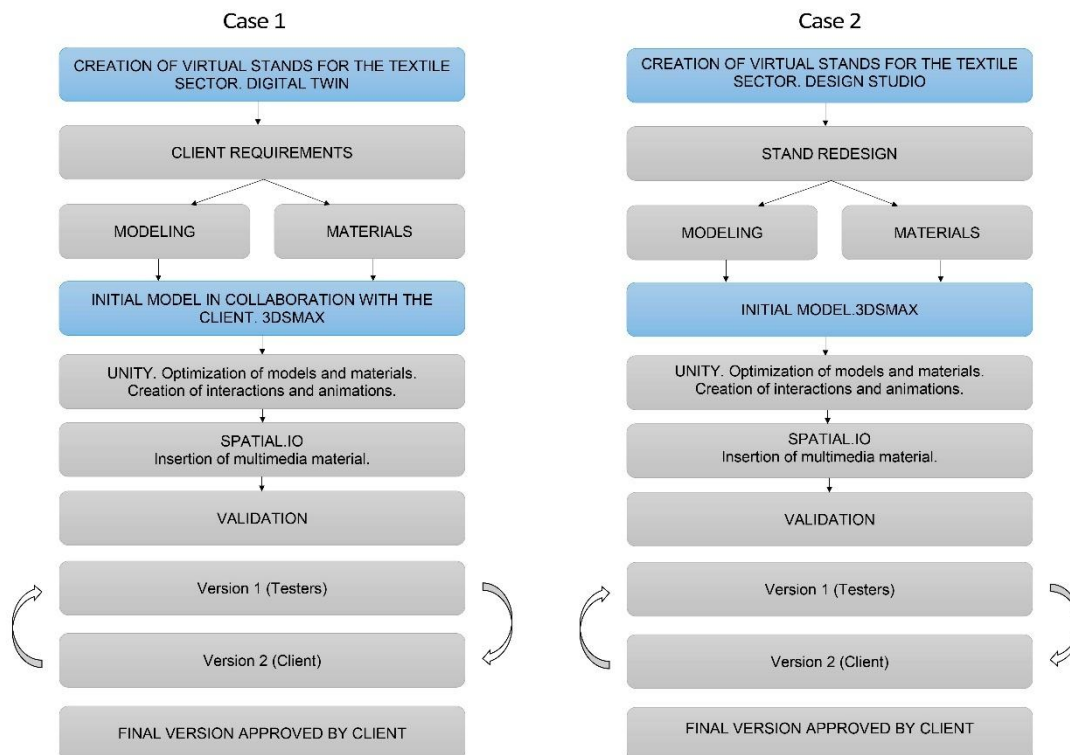


Fig. IV-2. Los esquemas de las metodologías seguidas para los casos 1 y 2.

4.2.2. Modelado, texturización y animación del gemelo digital.

El proceso de modelado del gemelo digital comienza con una reunión con el cliente, durante la cual proporciona los planos del stand físico, incluyendo muebles, exhibiciones y requisitos específicos para su réplica virtual en el MV. El cliente también proporciona muestras de tela (perchas) que deben ser escaneadas para crear las texturas que definen las muestras digitales. Esta fase es esencial para alinear las expectativas del cliente con las limitaciones tecnológicas del proyecto. El siguiente paso implica modelar el stand físico utilizando 3ds Max y aplicar materiales según las especificaciones del cliente. El siguiente paso es modelar el stand físico con 3ds Max y aplicar los materiales de acuerdo con sus especificaciones. Este proceso es rápido, ya que no hay un estudio de diseño aún; solo necesita ser replicado en el mundo virtual, tal como se proyectó para el stand de la feria. En la Fig.IV-3, se puede ver el resultado del modelado 3D del stand físico propuesto.

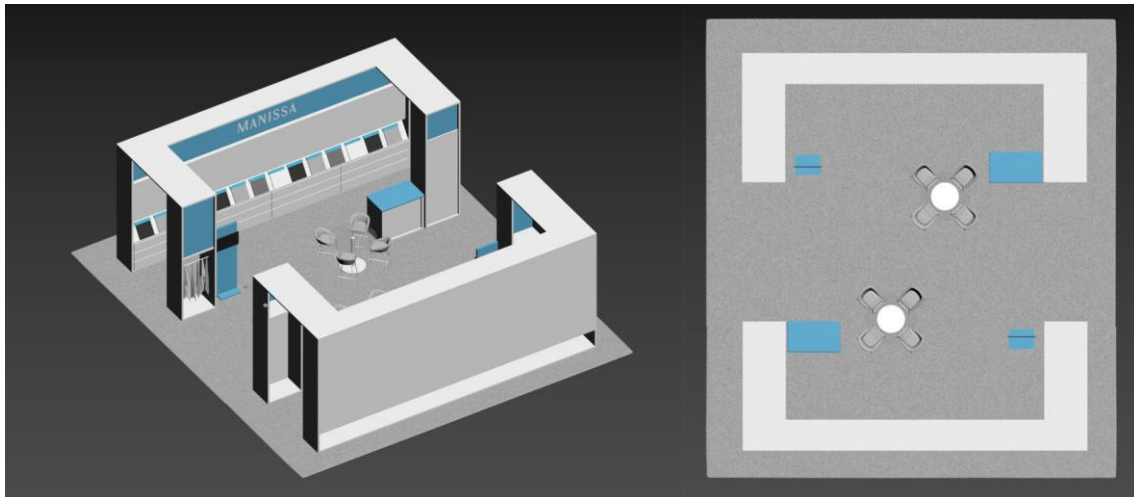


Fig. IV-3. La vista isométrica y el plano del modelo 3D del stand físico.

Es un diseño simple que se alinea con los medios económicos del cliente. Después de varias reuniones, se define el modelado del stand, los muebles y las exhibiciones, de acuerdo con los comentarios y ajustes. Este modelado 3D se exporta a Unity, para optimizar los objetos y texturas e incorporarlos en la plantilla de Spatial.io [75]. Aunque el modelado y texturización podrían haberse completado con Unity, usar 3ds Max simplifica el proceso [76]. En contraste, el programa de Autodesk carece de las características necesarias para implementar el modelado en MV, que proporciona Unity. Otras herramientas de construcción de VR y MR, como Unreal Engine de Epic Games (versión 5) o Omniverse de Nvidia (versión 2025), han sido descartadas debido a su incompatibilidad con Spatial.io. El stand modelado presenta una estructura convencional con exhibiciones de productos y mesas de reunión. Es una estructura robusta, con una apariencia visualmente pesada. Las paredes laterales están cerradas y evitan la vista del stand desde múltiples ángulos, permitiendo solo el paso a través del espacio en una dirección longitudinal. Procedemos a definir el proceso creativo del stand 2, bajo los principios de nuestro concepto de diseño básico o “buen diseño”.

4.2.3. Modelado, texturización y animación del rediseño.

En este caso, presentamos un rediseño del stand actual, sin ninguna restricción por parte del cliente. Para esto, aplicamos los conceptos básicos de diseño. Proporcionamos un breve resumen de ellos:

1. Proporción: una buena proporción asegura que los componentes de un producto estén visual y formalmente equilibrados.
2. Simetría: cuando las partes de un objeto se reflejan de manera equilibrada a través de uno o más ejes, reforzando los conceptos de equilibrio y orden.
3. Orden: un buen sentido del orden proporciona jerarquía y aumenta el valor indicativo del producto, lo que beneficia los aspectos estéticos. El objetivo es guiar el uso intuitivo del soporte a través de formas y composición espacial.
4. Jerarquía: la disposición de los elementos que permite al usuario saber de inmediato cuáles partes del producto son más relevantes o priorizadas, favoreciendo la usabilidad intuitiva.
5. Funcionalidad: la capacidad de un producto para cumplir efectivamente su propósito previsto.

6. Claridad: la facilidad con la que un usuario puede entender y usar un producto.
7. Simplicidad: reducción de la complejidad que desvía la percepción equilibrada y estética. Primero, se decidió que la paleta de colores del stand sería monocromática (Ver Fig. IV-4), desvaneciéndose desde el color de la marca, con incrementos de brillo, hasta el blanco. Los colores están dispuestos en contraste simultáneo, adhiriéndose al principio de Proporción.



Fig. IV-4. Los detalles de la carta de colores. Los colores base se centrarán en estos tres colores RGB.

Para dar al stand una mayor ligereza, se ha diseñado un sistema de recintos y arcos que lleva el logo de la marca Manissa, asegurando que la percepción sea siempre formal y cromáticamente equilibrada, adhiriéndose al principio de Simplicidad. (Ver Fig. IV-5 y Fig. IV-6). Para el ensamblaje de los diferentes elementos, se ha decidido colocar una estructura en forma de L, que permite al usuario moverse cómodamente entre las diversas áreas, aplicando los principios de Orden y Funcionalidad. El resultado es una composición armoniosa combinando tres tonos de la misma gama monocromática. El espacio general ha sido diseñado utilizando la Simetría, para que el usuario tenga una sensación de armonía, aplicando el principio de Claridad. Ver Fig. IV-7).

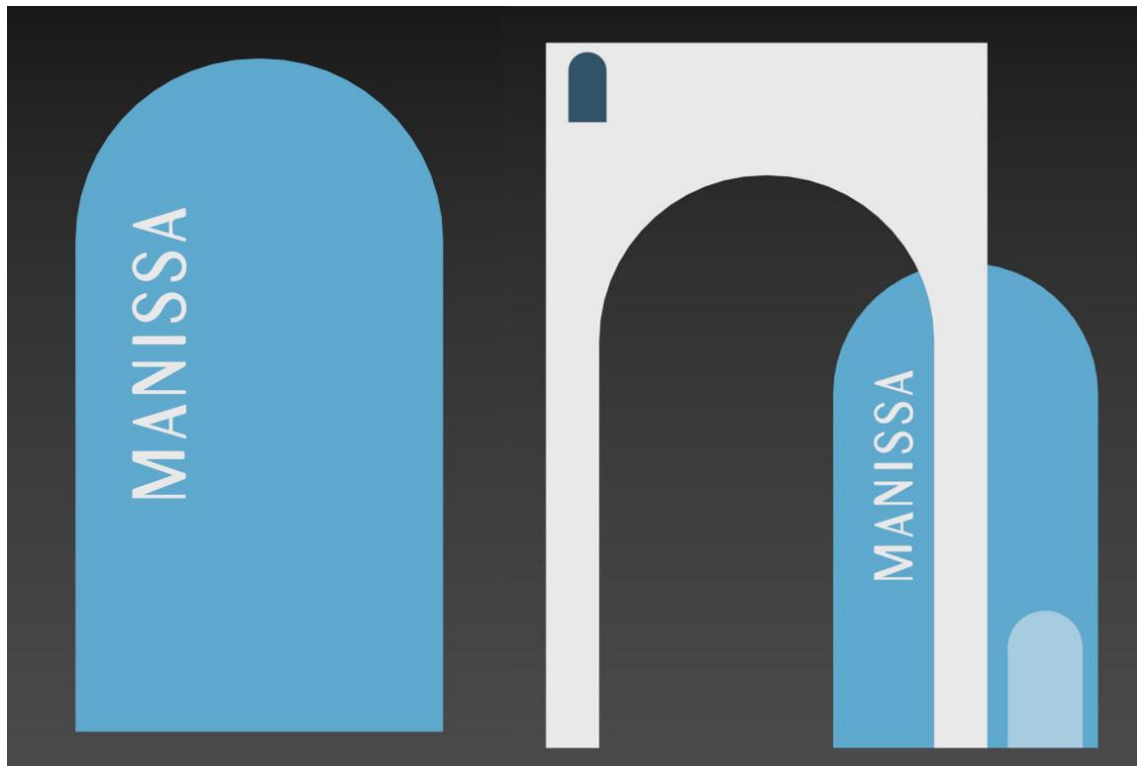


Fig. IV-5. Detalles de la puerta diseñada, con el principio de Sencillez, aplicado a las puertas.

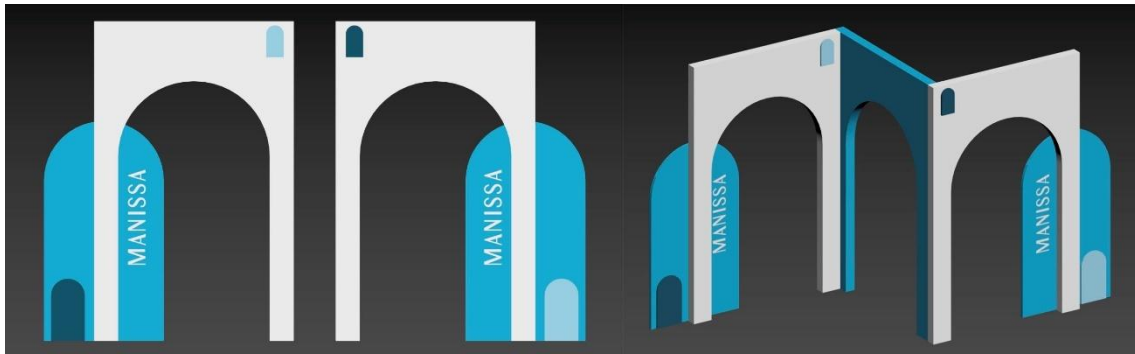


Fig. IV-6. Los principios de Jerarquía y Simetría, aplicados en la composición de elementos.

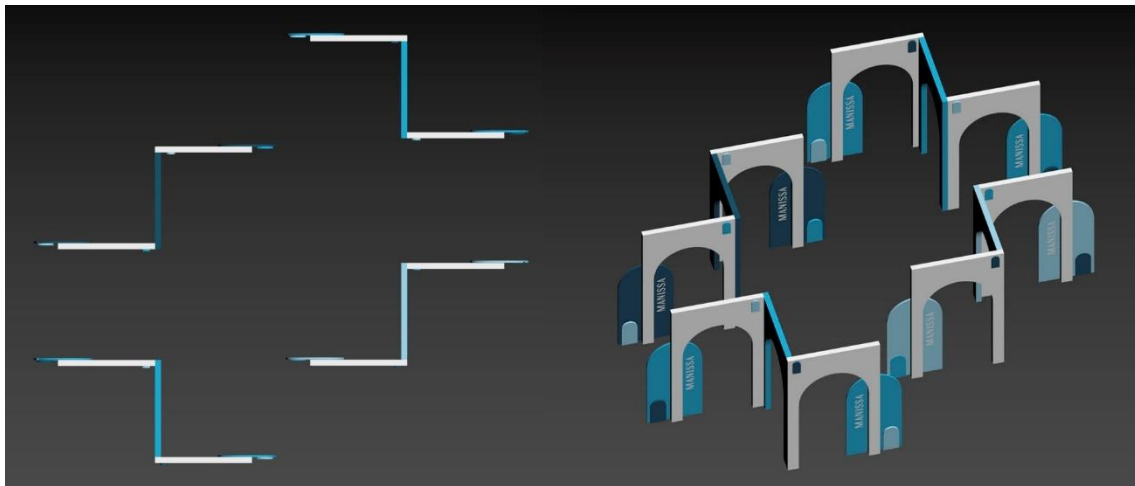


Fig. IV-7. Principio de Claridad aplicado.

Para la base o el suelo, se ha decidido un arreglo cromático simétrico de acuerdo con el resto del conjunto tridimensional (Ver Fig. IV-8).

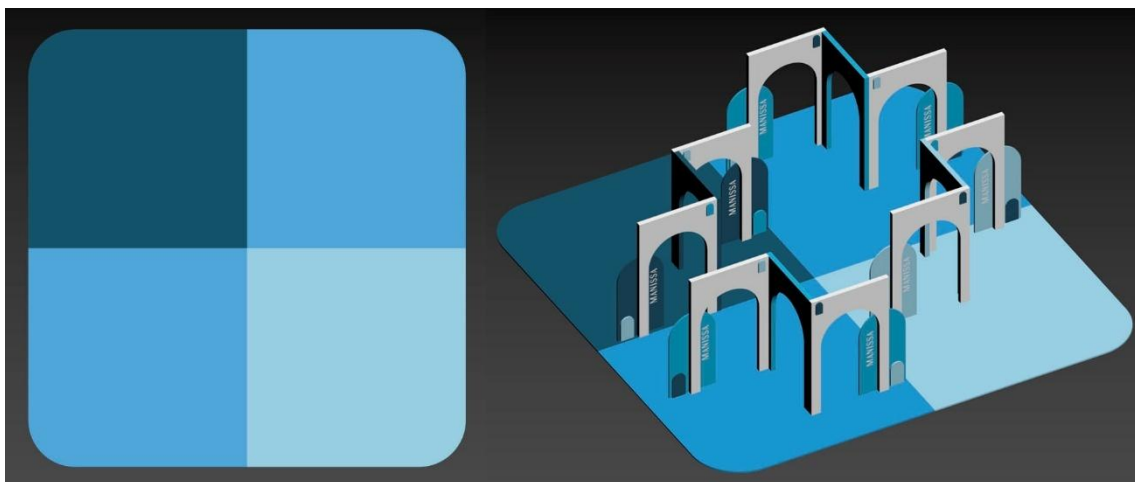


Fig. IV-8. El principio de Simetría aplicado al suelo.

Al analizar el diseño del stand, se encontró que era demasiado plano, y se decidió insertar escaleras en dos de los paneles para diferenciar mejor las cuatro áreas (ver Fig. IV-9).

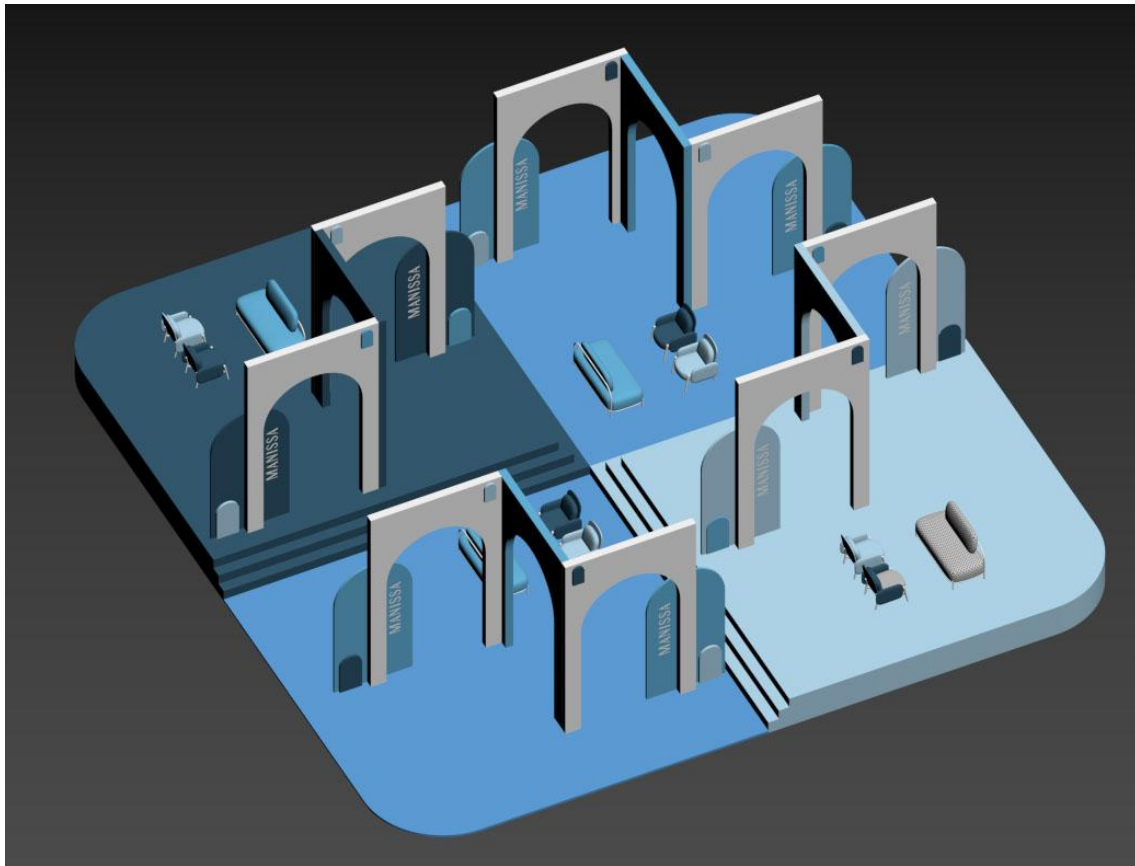


Fig. IV-9. La apariencia final del stand rediseñado.

Y finalmente, se diseñó un mobiliario cálido y cómodo. Decidimos colocar un conjunto de dos sillones y un sofá (ver Fig. IV-10). En cuanto a los colgadores de tela o muestras, decidimos digitalizarlos. En el MV, se utilizarán carruseles para intercambiar los diseños de telas de tapicería aplicables a sofás y sillones. Nuestro avatar del MV puede sentarse cómodamente y elegir texturas del carrusel y aplicarlas al modelo de sofá o sillón seleccionado (ver Fig. IV-11). En el caso de construir el stand real o físico, sería preferible utilizar tabletas o aplicaciones de AR en su lugar, para poder mostrar al cliente "in situ" la posibilidad de combinar y modificar texturas de la misma manera.

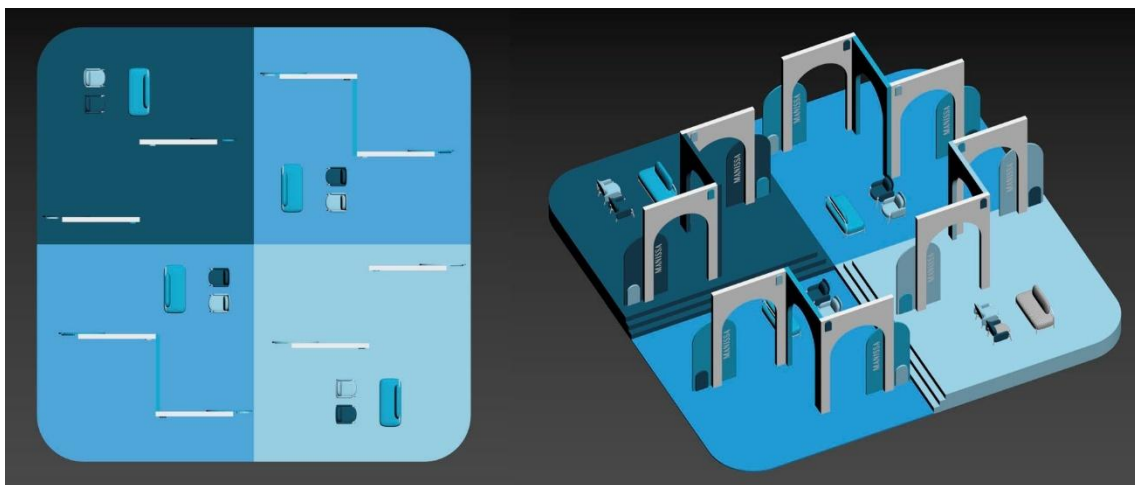


Fig. IV-10. El mueble 3D aplicado al stand virtual.

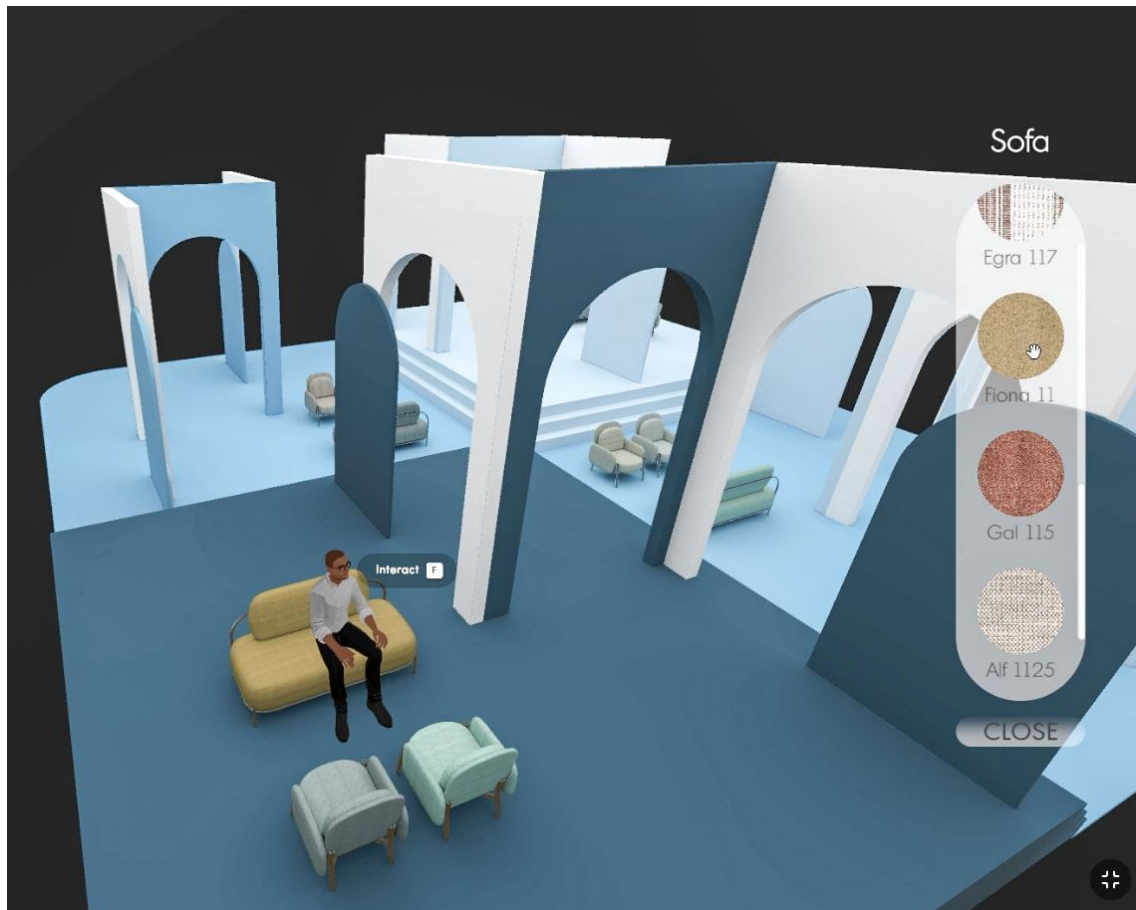


Fig. IV-11. Los detalles del carrusel diseñado para cambiar las texturas del mueble.

4.2.4. Optimización de modelos y materiales con Unity. Creación de interacciones y animaciones.

Unity es uno de los motores de juego más populares y versátiles del mercado, junto a Unreal. Se ha convertido en un actor clave en el desarrollo de aplicaciones para MV debido a su capacidad para crear entornos 3D interactivos y experiencias inmersivas. Su tecnología permite a los desarrolladores construir mundos virtuales en tiempo real, convirtiéndolo en una herramienta clave para proyectos que van desde videojuegos hasta experiencias de VR, AR y MR, todos los cuales son componentes fundamentales de MV. La plataforma facilita la creación de experiencias enriquecidas, interactivas y personalizables que se pueden acceder en una variedad de dispositivos y plataformas.

Aunque Unity y Spatial.io están estrechamente relacionados en el contexto del desarrollo de experiencias inmersivas y VE, cumplen roles diferentes dentro del ecosistema de creación de contenido 3D y MV. Su interconexión radica en el hecho de que Spatial.io utiliza Unity como parte de su backend de desarrollo. Los entornos 3D y las interacciones que se muestran en Spatial.io son impulsados por la tecnología de Unity, lo que permite la creación de experiencias visualmente atractivas y realistas en tiempo real. Spatial.io proporciona una plataforma accesible para aprovechar mundos 3D creados con Unity, facilitando la interacción social, colaborativa y comercial en el MV mientras Unity sirve como la base tecnológica, permitiendo la construcción de estos entornos con un alto nivel de detalle e interactividad. La versión de Unity utilizada para la creación del gemelo digital y el rediseño fue 2021.3.21f1. Para comenzar a trabajar,

importamos la plantilla de Spatial.io en Unity, que proporciona activos de ejemplo para iniciar el proyecto. (Ver Fig. IV-12).

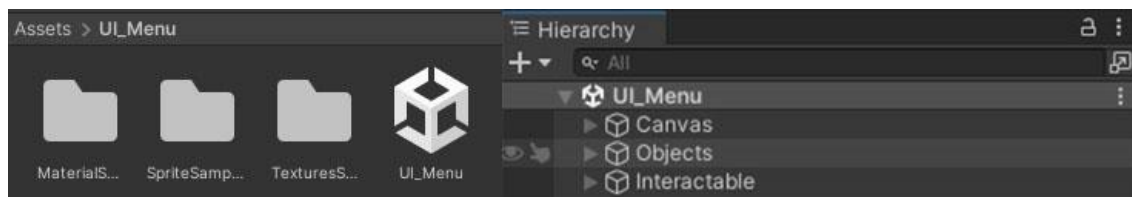


Fig. IV-12. Menú de carpetas de Unity y jerarquía de carpetas de la plantilla.

Dentro de esta plantilla, hay un grupo que define el menú de selección de texturas y el Viewport, que contiene los elementos gráficos del menú. (Ver Fig. IV-13).

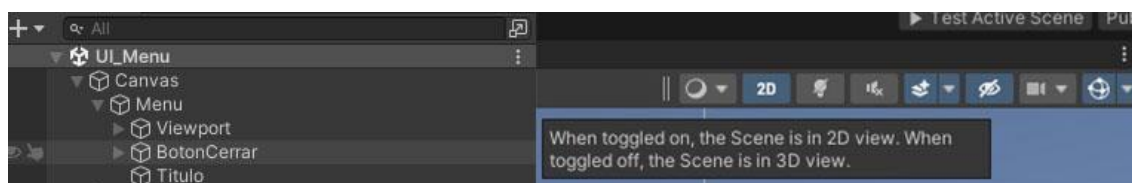


Fig. IV-13. El menú de selección de texturas y detalles para el Viewport.

En el grupo de Contenido, se pueden encontrar los botones que se han utilizado para definir la función Abrir/Cerrar en el Selector de Texturas. (Ver Fig. IV-14).

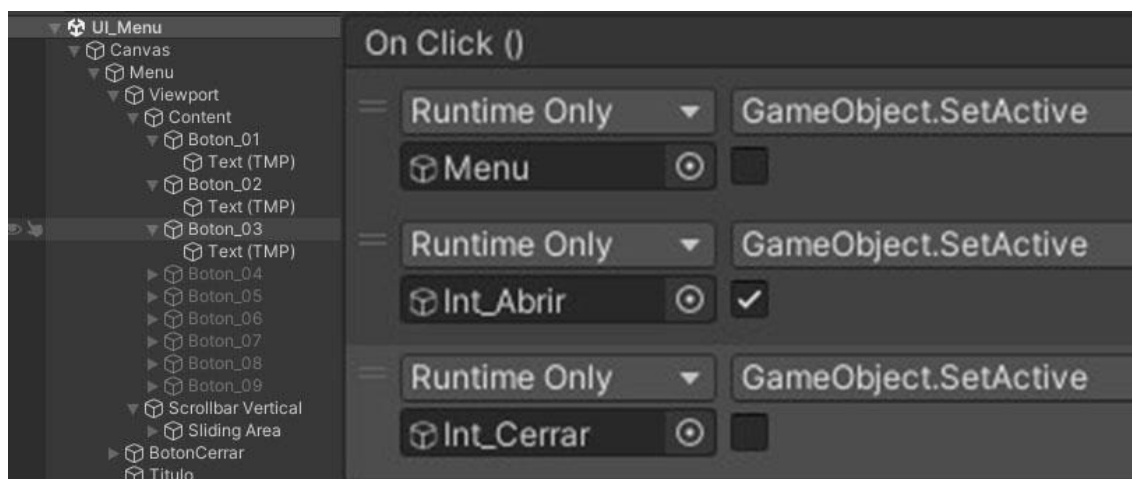


Fig. IV-14. Los detalles de los botones programados y el botón Cerrar.

El título es el componente de texto donde se puede definir un título para el menú (ver Fig. IV-15).

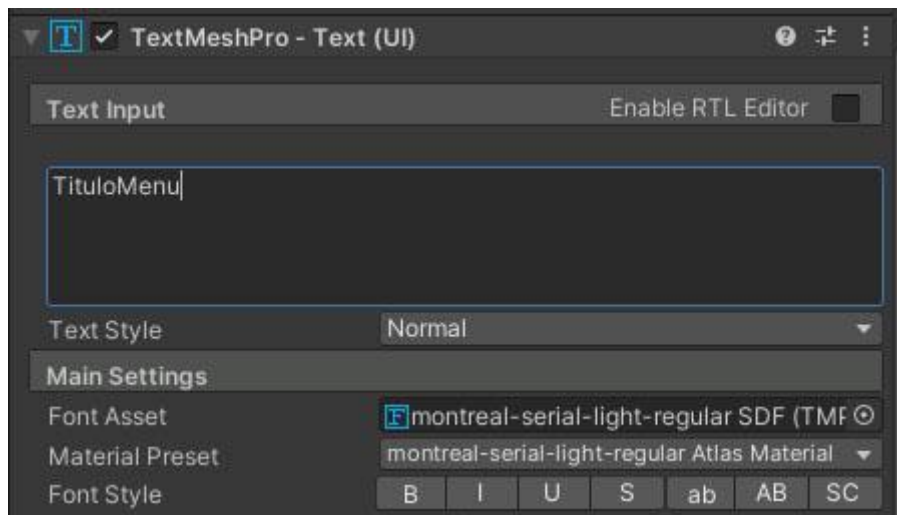


Fig. IV-15. Los detalles del componente de texto.

En el grupo de Objetos, se han definido esferas, que permiten a los usuarios seleccionar muestras de tela en el selector de Textura. (ver Fig. IV-16).

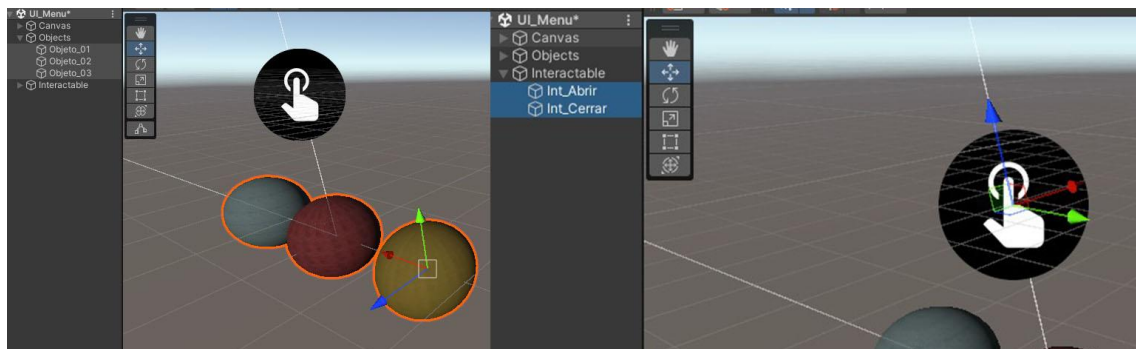


Fig. IV-16. Los detalles de las esferas y el menú Interactable. Las flechas de colores indican los ejes de coordenadas de la esfera siguiendo el esquema de colores RGB, rojo para el eje X, verde para el eje Y y azul para el eje Z.

En el grupo Interactable, se ha definido el nombre de cada textura. (Ver Fig. IV-17).

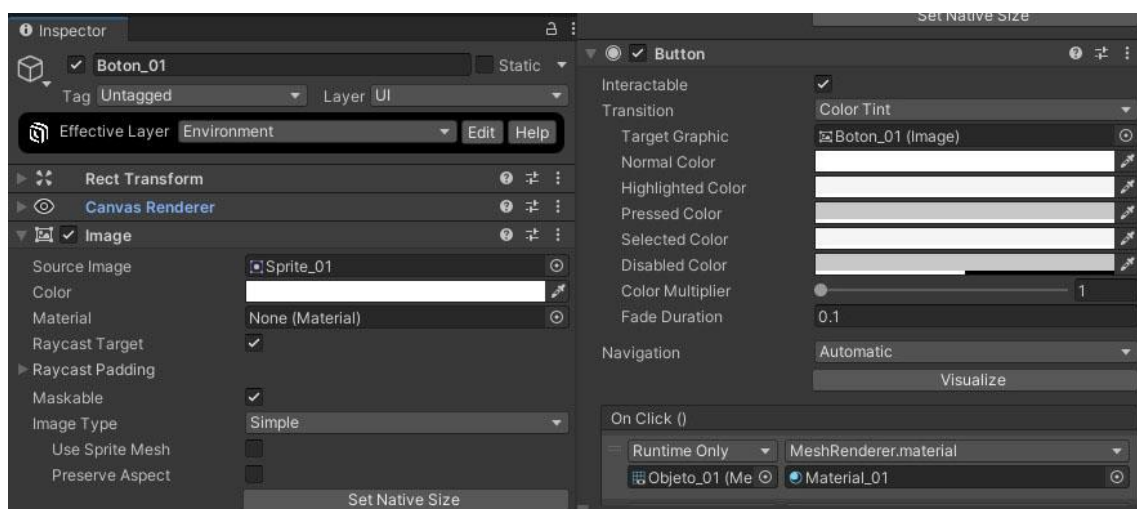


Fig. IV-17. Editando cada botón para asignarlo a su textura correspondiente.

También necesitamos cambiar el texto que se muestra debajo del botón: seleccionamos el componente Text (TMP). (Ver Fig. IV-18).

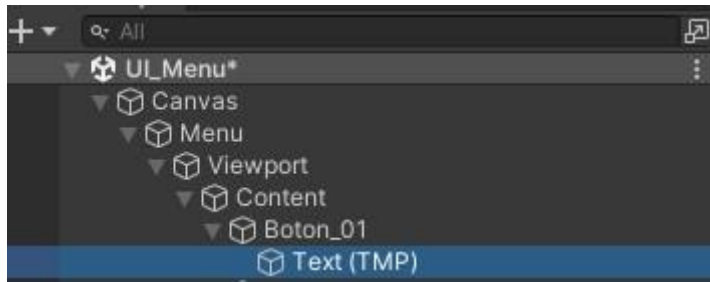


Fig. IV-18. Los detalles del componente de texto.

En el panel de propiedades, podemos editar el texto. (Ver Fig. IV-19 y IV-20).

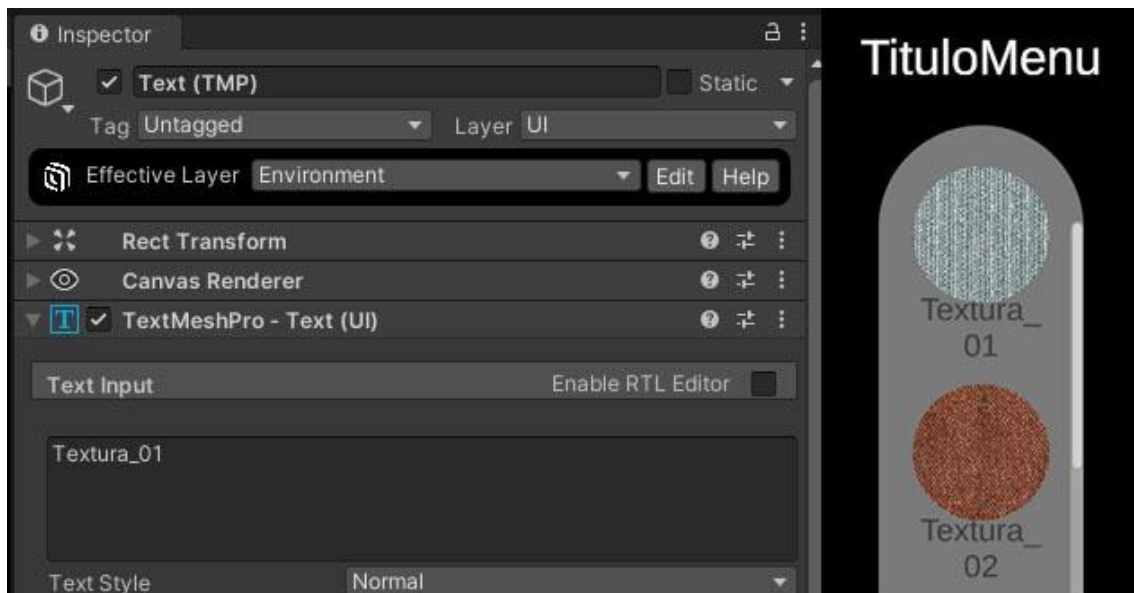


Fig. IV-19. En el panel de propiedades, definimos el nombre de la textura para que se aplique al carrusel.

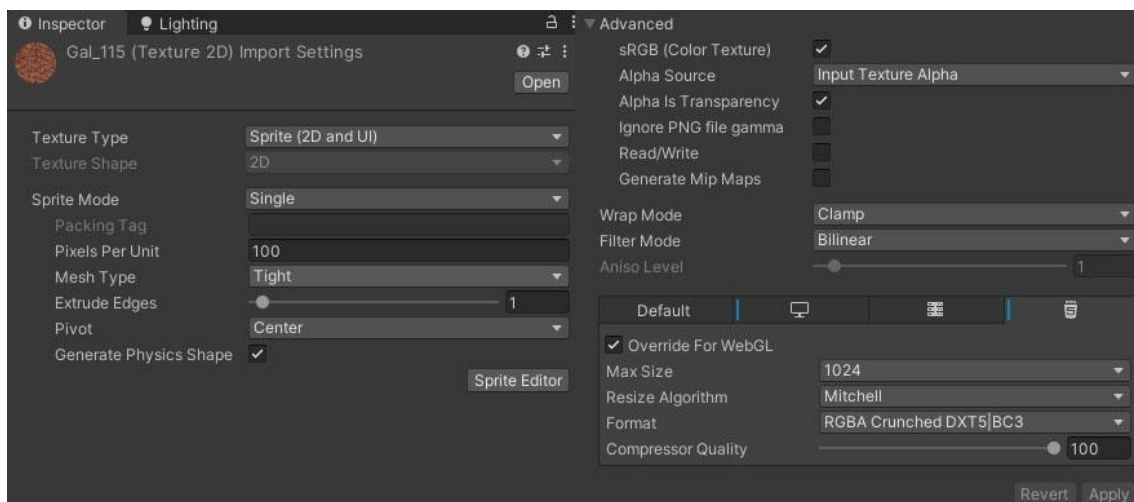


Fig. IV-20. Detalles sobre cómo definir los íconos de textura.

Se recomienda utilizar texturas de potencias de dos, siendo 1024 × 1024 la resolución recomendada. (Ver Fig. IV-21).

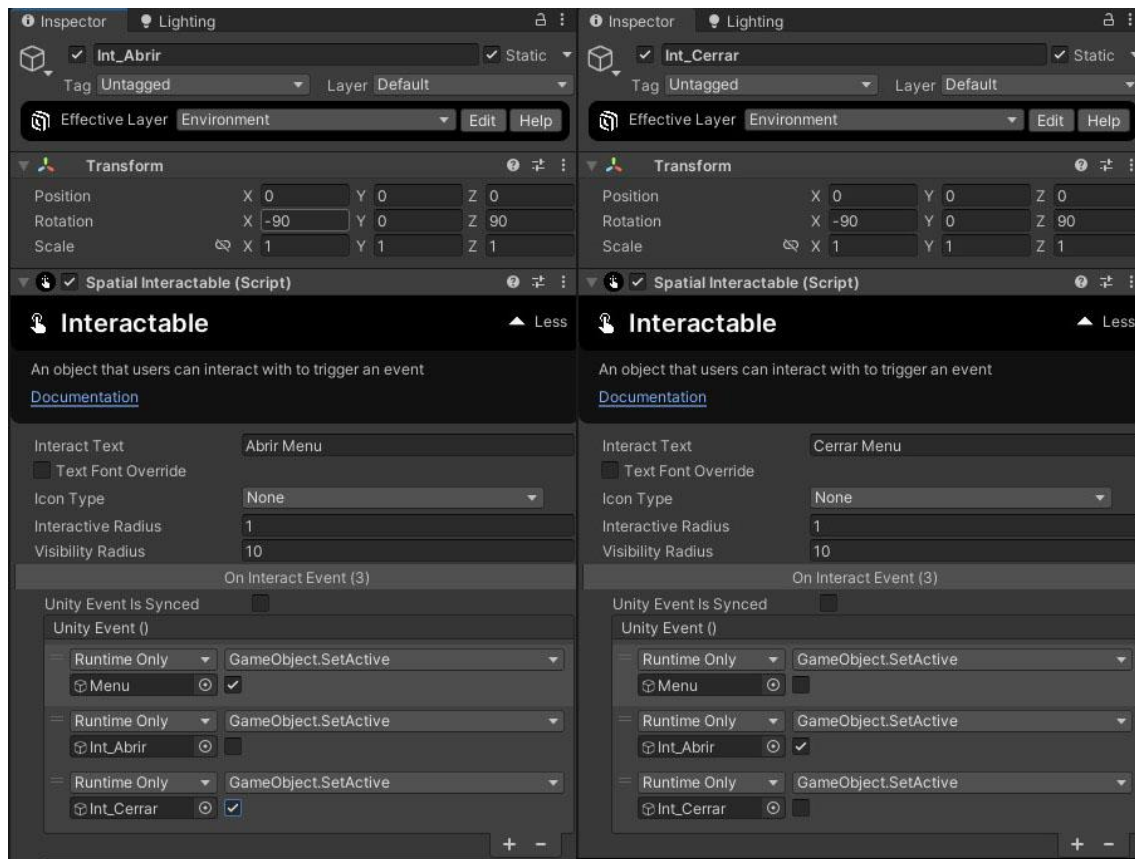


Fig. IV-21. Los detalles de los componentes Int_Open e Int_Close.

Necesitas editar el Sprite que define las imágenes de textura para que no aparezcan distorsionadas. (Ver Fig. IV-22).

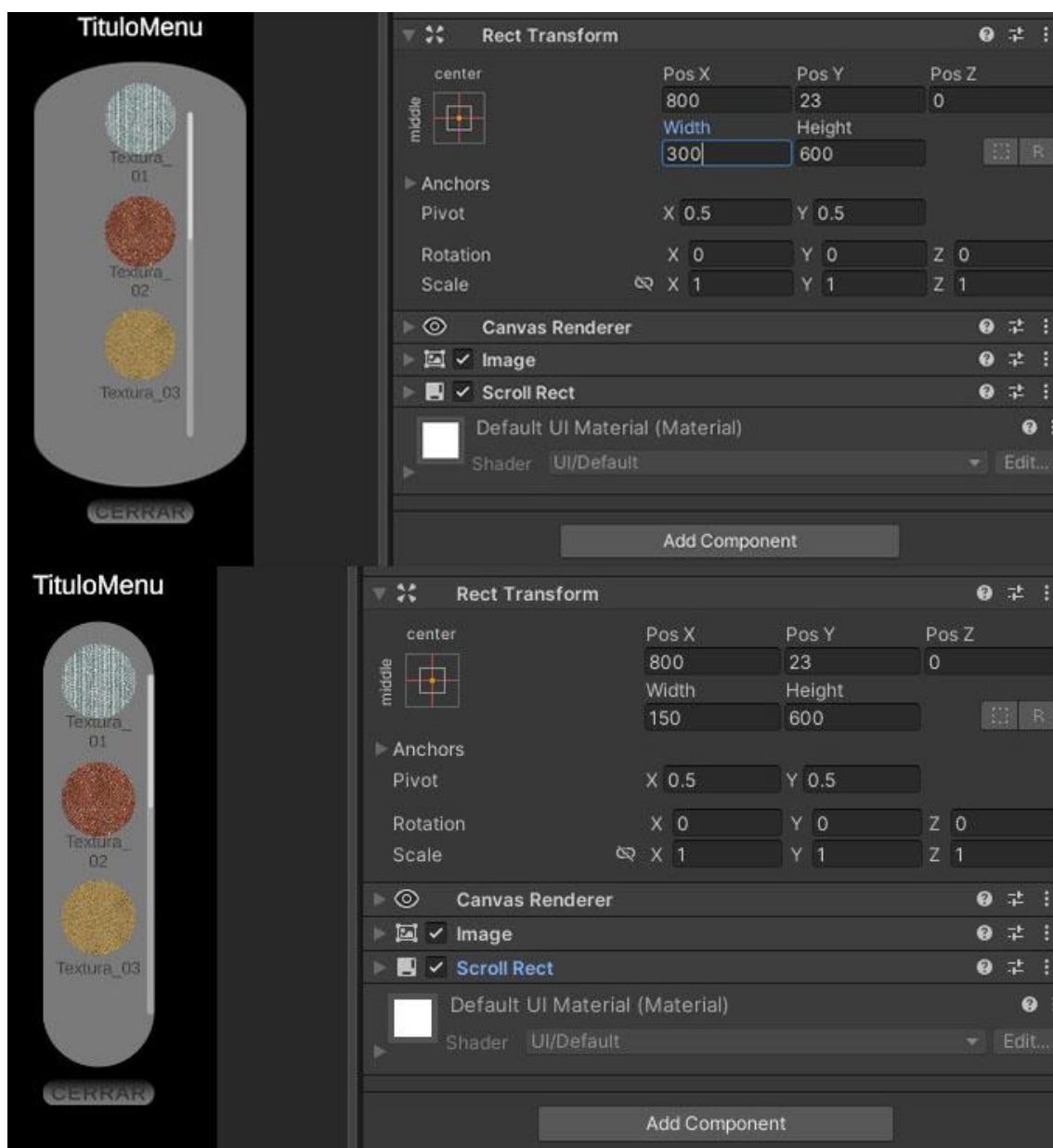


Fig. IV-22. Detalles sobre cómo definir correctamente el fondo del carrusel.

4.2.5. SPATIAL.IO. Inserción de Material Multimedia

Una vez que hemos terminado de editar y programar la escena en Unity, la publicamos en la plataforma Spatial. Allí, podemos entrar y navegar a través de la escena con total libertad. Todos los elementos multimedia, como imágenes, videos, presentaciones, etc., deben configurarse desde la plataforma en línea, utilizando los marcos vacíos introducidos en Unity. (Ver Fig. IV-23).



Empty Frame

Fig. IV-23. Detalles del Marco Vacío de Spatial.io, para definir contenido multimedia.

4.2.6. Diseño de la Investigación

Para validar las versiones Tester del gemelo digital y el rediseño creado para esta investigación, se utilizaron un portátil y unas gafas de realidad virtual, Meta Quest 3 (Meta Platforms, Menlo Park, CA, EE. UU.). Nuestra intención era permitir a los usuarios probar ambas plataformas y evaluar sus respectivas ventajas y desventajas. Las pruebas se realizaron de forma individual. Antes de cada prueba, un técnico proporcionó un tutorial simple para explicar cómo ponerse las gafas y usar los controladores y botones para navegar a través del espacio y sus menús. Se demostraron las herramientas para la socialización y la creación de avatares, junto con las herramientas para la creación de imágenes y videos. Se advirtió a los usuarios sobre la posibilidad de experimentar mareos y se les aconsejó evitar movimientos repentinos o rápidos. Durante la prueba, el técnico acompañó al usuario virtualmente utilizando su propio avatar.

Esto se hizo para evitar que se perdieran en el espacio y asegurar que supieran cómo utilizar correctamente el carrusel de texturas virtual y aplicarlo a la tapicería. Una vez que el usuario se sintió cómodo con la navegación, se le permitió explorar la escena libremente sin límite de tiempo. El mismo proceso se siguió para el resto de los usuarios que probaron la aplicación. Se les presentó el mismo escenario, con la persona que estaba probando simultáneamente las gafas de realidad virtual. Las pruebas se llevaron a cabo durante la Feria Internacional del Mueble y la Iluminación Hábitat València, del 30 de septiembre al 3 de octubre. Para esto, se utilizó el stand físico de nuestro cliente Manissa para mostrar ambas plataformas. De esta manera, el usuario podía visitar virtualmente el stand físico y compararlo con el stand rediseñado. Las interacciones y reacciones de los usuarios se registraron durante cada prueba para una evaluación posterior. La prueba concluyó cuando el usuario solicitó abandonar el escenario.

4.2.7. Análisis de Datos

Para validar la metodología empleada en los ensayos, se realizaron entrevistas con los usuarios y se llevaron a cabo pruebas para evaluar el grado de satisfacción con la experiencia del stand del gemelo digital (Caso 1) y el rediseño. (Caso 2). Posteriormente, se entregaron dos cuestionarios estándar a cada usuario: el IPQ (Cuestionario de Presencia Igroup) [77] y el SUS (Escala de Usabilidad del Sistema) [78]. El Cuestionario de Presencia Igroup (IPQ) está diseñado específicamente para medir el sentido de presencia de una persona en entornos virtuales (EV),

como la realidad virtual. La presencia se refiere a la sensación subjetiva de "estar" verdaderamente en un entorno virtual, más allá de simplemente interactuar con una simulación digital. Este cuestionario es un recurso ampliamente utilizado en estudios de realidad virtual y entornos digitales interactivos, ya que evalúa de manera efectiva la experiencia inmersiva. El IPQ consta de 14 preguntas diseñadas para evaluar diferentes aspectos de la experiencia de presencia, tales como:

1. Presencia Espacial: evalúa la percepción de "estar físicamente en otro lugar" mientras se está en el entorno virtual.
2. Presencia Inmersiva: mide el nivel de compromiso en el entorno virtual. Una mayor participación sugiere que el usuario se ha "inmerso" emocionalmente en la experiencia.
3. Realismo de Presencia: captura la percepción de realismo del entorno virtual. Evalúa si los usuarios sienten que el entorno es 'realista' o similar al mundo real.
4. Presencia General: una medida más general de presencia que complementa las otras dimensiones y permite una visión integral de la experiencia de presencia.

El IPQ se utiliza para evaluar la efectividad del VE en la generación de una experiencia inmersiva, comparar diferentes tecnologías de VR o AR para determinar cuáles generan un mayor sentido de presencia, y mejorar el diseño de experiencias inmersivas en áreas como videojuegos, simulaciones de entrenamiento, terapia de exposición y aplicaciones educativas. Las 14 preguntas incluidas en el cuestionario IPQ se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla con los problemas del IPQ.

Número	Pregunta
IPQ1	En el espacio inmersivo creado, tenía una sensación de "estar allí".
IPQ2	De alguna manera, sentí que el mundo virtual me rodeaba.
IPQ3	Sentí que solo estaba percibiendo imágenes.
IPQ4	No me sentí presente en el espacio virtual.
IPQ5	Tuve la sensación de actuar en el espacio virtual, en lugar de operar algo desde afuera.
IPQ6	Me sentí presente en el espacio virtual.
IPQ7	¿Qué tan consciente estabas del mundo real que te rodeaba mientras navegabas en el mundo virtual? (es decir, sonidos, temperatura de la habitación, otras personas, etc.)?
IPQ8	No estaba consciente de mi entorno real.
IPQ9	Todavía presté atención al entorno real.
IPQ10	Estuve completamente cautivado por el mundo virtual.
IPQ11	¿Qué tan real te pareció el entorno virtual?
IPQ12	¿Cuánto te pareció que tu experiencia en el entorno virtual era consistente con tu experiencia en el mundo real?
IPQ13	¿Qué tan real te pareció el mundo virtual?
IPQ14	El mundo virtual parecía más realista que el mundo real.

El método de medición utilizado para este cuestionario es una escala Likert de 7 puntos. En este artículo, se analizan las variables de cada prueba, utilizando una desviación estándar de los promedios de las puntuaciones de las preguntas en cada prueba. El SUS es un cuestionario de 10 preguntas diseñado para evaluar la usabilidad de sistemas y productos tecnológicos, como sitios web, aplicaciones y dispositivos. Desarrollado en 1986 por John Brooke, se utiliza ampliamente debido a su simplicidad, rápida administración y efectividad en proporcionar una medida general de usabilidad. Las 10 preguntas se detallan en la Fig. IV-24, y los usuarios deben completarlas después de interactuar con el sistema o producto. Las preguntas alternan entre afirmaciones positivas y negativas para reducir el sesgo y abarcar aspectos de la usabilidad y el aprendizaje del sistema. Cada afirmación se evalúa en una escala Likert de 5 puntos, que va desde 1 (totalmente en desacuerdo) hasta 5 (totalmente de acuerdo).

Número	Pregunta
SUS1	Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.
SUS2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.
SUS3	El sistema era fácil de usar
SUS4	Creo que necesitaría el apoyo de una persona técnica para poder usar este sistema.
SUS5	Las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.
SUS6	Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
SUS7	Creo que la mayoría de las personas aprenderán a usar este sistema muy rápidamente.
SUS8	Encontré el sistema muy engorroso de usar.
SUS9	Me sentí muy seguro usando el sistema.
SUS10	Necesitaría aprender muchas cosas, antes de poder empezar a usar este sistema.

Fig. IV-24. Una tabla con los problemas del SUS.

El SUS proporciona un sistema de puntuación de 0 a 100. No representa un porcentaje, sino que ofrece un medio para comparar la usabilidad relativa de diferentes sistemas y determinar si un sistema es fácil o difícil de usar. (Ver Fig. IV-25). La fórmula se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$SUS=((Q1-1) + (5-Q2) + (Q3-1) + (5-Q4) + (Q5-1) + (5-Q6) + (Q7-1) + (5-Q8) + (Q9-1) + (5-Q10)) \times 2.5$$

Fig. IV-25. La ecuación que define el sistema SUS.

En esta fórmula, las variables de Q1 a Q2 representan las respuestas a las 10 preguntas. Para evaluar las respuestas de todas las pruebas, se calculan la media y la desviación estándar.

4.3. Resultados

En esta sección, detallamos las aplicaciones MV generadas, caso 1 (gemelo digital) y caso 2 (rediseño de stand). Para mostrar estas aplicaciones, se ha creado una demostración en video de ambos casos, donde uno de los usuarios utiliza el modelo de gafas Meta Quest 3 y otro usuario navega desde una laptop. (Ver Fig. IV-26). Los dos usuarios completaron previamente el tutorial para familiarizarse con la aplicación. Video del caso 1; video del caso 2 (Consultado el 31 de octubre de 2024).



Fig. IV-26. Una imagen de una de las parejas que realizaron las pruebas en los casos 1 y 2.

Al entrar en el espacio inmersivo, los usuarios podían navegar libremente por ambos stands virtuales, explorar los productos textiles del cliente y modificar las telas de los muebles. Estaban conectados a través de la misma cuenta de Spatial.io, lo que les permitía interactuar simultáneamente desde diferentes dispositivos. (Ver Fig. IV-27).

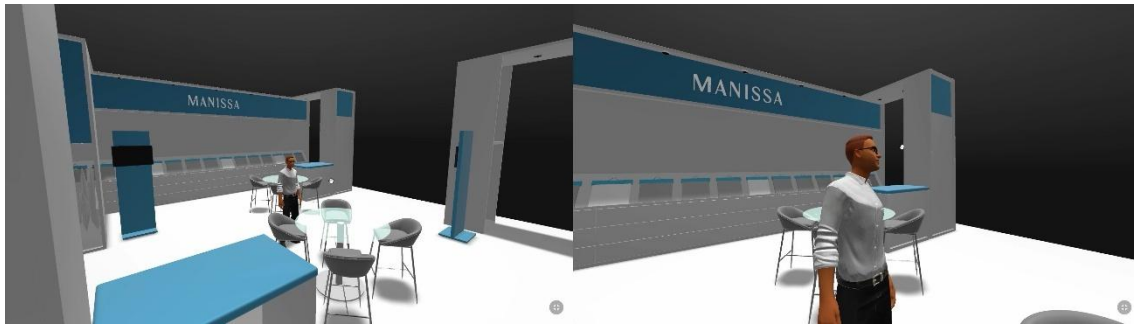


Fig. IV-27. Capturas de pantalla de la aplicación MV, para el caso 1.

La Fig. IV-27 muestra detalles del escenario virtual del gemelo digital, exhibiendo expositores, mesas, sillas de reunión y roll-ups. En contraste, la Fig. IV-28 ilustra el escenario rediseñado, presentando las secciones distintas del stand. También muestra cómo el avatar puede sentarse en el sofá y utilizar el carrusel programado para configurar y aplicar diferentes texturas de tapicería. La capacidad de configurar las telas en tiempo real y ver su aplicación en los muebles impresionó a los usuarios.

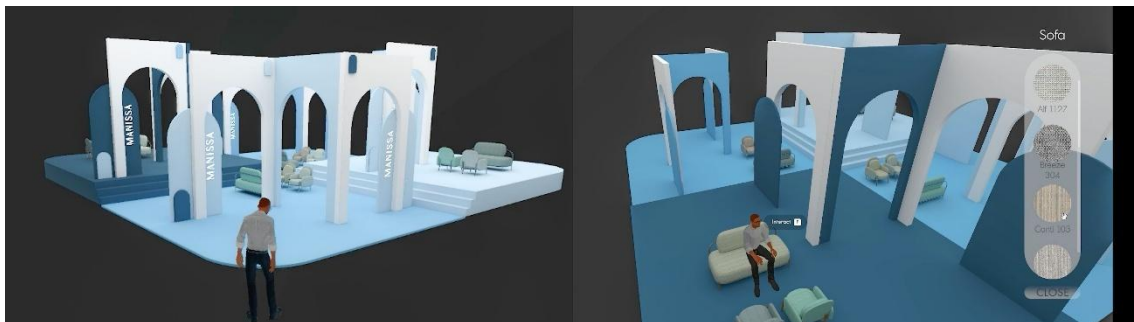


Fig. IV-28. Capturas de pantalla de la aplicación MV, para el caso 2.

Se registraron diferentes comportamientos: el usuario de las gafas de VR experimentó una mayor sensación de inmersión, acompañada de una leve sensación de mareo. Pasó más tiempo observando las pantallas y los muebles. En contraste, el usuario de la laptop pasó más tiempo experimentando con las herramientas para correr o saltar, así como con las características de socialización de la plataforma Spatial, incluyendo chat, realizando bailes y enviando emoticonos. El usuario de VR se centró más en explorar y navegar por el espacio, impulsado por la curiosidad sobre el diseño espacial.

La interacción entre ambos usuarios fue fluida. Se intercambiaron emojis y mensajes de texto, iniciando una conversación sobre la apariencia del stand, lo que demuestra la mejora de la experiencia virtual. El usuario de VR reportó dificultad para manejar algunos menús e íconos, y reportó mareos ocasionales cuando la navegación era abrupta. El análisis se aplicó a un total de 14 usuarios. La distribución demográfica fue la siguiente: la mitad indicó que eran hombres y la otra mitad mujeres. El equilibrio demográfico fue el siguiente: 7.14% eran menores de 18 años, y 35.71% estaban entre 18 y 25 años. Aquellos entre 25 y 40 años representaron el 28.57%, los que estaban entre 40 y 55 años representaron el 21.43%. Finalmente, el grupo de edad entre 55 y 70 años representó el 7.14%. En cuanto a la educación académica, el 28.57% tenía estudios

básicos, el 50% eran graduados, y el 21.43% tenía un posgrado. Respecto al uso de estas tecnologías, el 42.86% afirmó que las utilizaba a diario, ya sea en el trabajo o por ocio en videojuegos o viendo películas, y el 21.43% afirmó que las utilizaba ocasionalmente.

Finalmente, se les preguntó si ya habían tenido experiencias con la MV, y el 28.57% respondió afirmativamente. En las siguientes figuras (ver Figuras 29 y 30), se pueden observar los datos obtenidos del IPQ para el caso 1 (gemelo digital) y el caso 2 (rediseño). En la Fig. IV-29, se indican la media y la desviación estándar para cada pregunta del IPQ. En la Fig. IV-30, se indica cada subescala del cuestionario en forma de porcentaje, con respecto a la media y la desviación obtenidas de las respuestas.

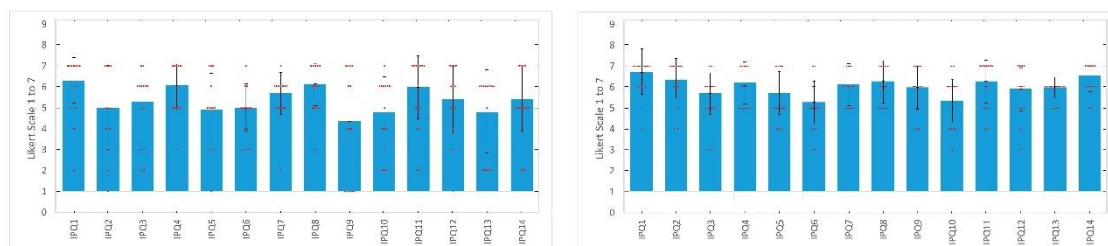


Fig. IV-29. En estos gráficos, podemos observar los resultados del cuestionario IPQ para el caso del gemelo digital y el rediseño. Los datos obtenidos (puntos rojos), la media (barras azules) y la desviación estándar (líneas verticales negras).

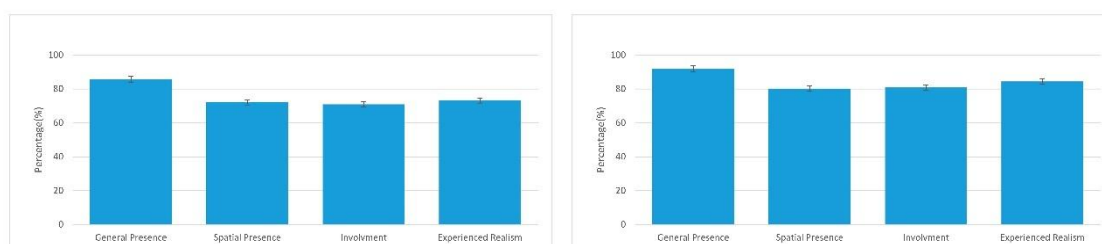


Fig. IV-30. En estos gráficos, podemos observar los resultados de las subescalas del IPQ para el caso del gemelo digital y el rediseño. Los datos obtenidos (puntos rojos), la media (barras azules) y la desviación estándar (líneas verticales negras).

Los datos obtenidos, para el caso 1, indican que el 85.71% de los encuestados experimentaron una Presencia General, con una desviación del 1.52%. Esto sugiere que los usuarios tuvieron un alto sentido de inmersión dentro del entorno visual (EV). En cuanto a la Presencia Espacial, se obtuvo una puntuación del 72.11% con una desviación del 1.19%, lo que muestra que los usuarios se sintieron físicamente presentes dentro del gemelo digital del stand. Además, el 70.92% de los encuestados, con una desviación del 1.35%, reportaron un alto nivel de compromiso dentro del EV. En cuanto al Realismo Experimentado, el 73.21% de los encuestados, con una desviación del 1.05%, afirmaron que se sintieron inmersos dentro del EV. Estos datos apoyan nuestro primer objetivo, crear un gemelo digital del stand físico, para que los clientes de cualquier parte del mundo puedan acceder a las noticias del fabricante sin necesidad de viajar a la feria promocional. En relación con los datos obtenidos para el caso 2 (el rediseño del stand físico), se puede observar que los encuestados lo calificaron más alto que el gemelo digital. Para la Presencia General, el 91.84% de los encuestados, con una desviación estándar del 0.94%, informaron sentir una fuerte presencia dentro del VE, un aumento del 6.13% en comparación con el caso 1. Para la Presencia Espacial, los usuarios se sintieron físicamente presentes el 80.27% del tiempo con una desviación de 1.04%, 8 puntos más que en el primer caso. Además, el 80.87%, con una desviación de 1.2%, indicó que su participación en el VE fue casi un 10% más alta que en el caso del gemelo digital. Finalmente, en la sección de Realismo Experimentado, el 84.44%

de los usuarios, con una desviación estándar de 1.3%, reportaron una inmersión constante en el VE, un 11.23% más que en el caso anterior. Estos hallazgos refuerzan nuestra hipótesis inicial, que destacó la falta de criterios de diseño y artísticos en la creación de mundos virtuales. Los datos muestran que los usuarios tienen una mejor sensación del espacio inmersivo si se crea basándose en los principios básicos del diseño. Para los datos obtenidos del cuestionario SUS, para el primer caso, el 73.39% de los encuestados, con una desviación estándar del 7.26%, indicaron la alta usabilidad de la aplicación. Para el segundo caso, el resultado fue del 88.04%, con una desviación de 3.35%. (Ver Fig. IV-31).

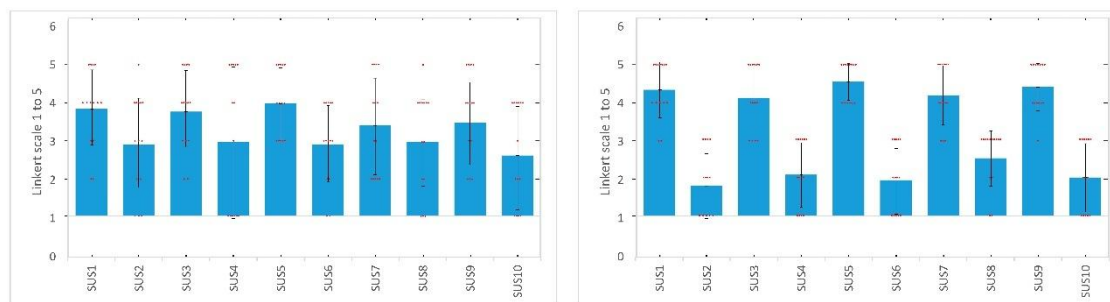


Fig. IV-31. Los resultados del SUS obtenidos para ambos casos. Los puntos rojos muestran los datos obtenidos, las barras azules la media y las líneas verticales la desviación estándar.

Cabe destacar que la mayoría de los encuestados estuvo de acuerdo con las ventajas de este tipo de aplicaciones y expresó su intención de usarlas con más frecuencia. Declararon que la experiencia había sido gratificante y fluida, con las aplicaciones fáciles aprender y usar. Estos datos respaldan nuestra hipótesis de que un estudio de diseño bien ejecutado puede mejorar significativamente la experiencia y la usabilidad de las aplicaciones de VR y MV.

4.4. Discusión

La presentación pública de las dos aplicaciones tuvo lugar en Home Textiles Premium, por Textilhogar, durante la Feria Hábitat València 2024, celebrada del 30 de septiembre al 3 de octubre de 2024. Aprovechando el stand físico del fabricante, este espacio se utilizó para permitir a los usuarios visitar los dos stands virtuales. Se utilizó un visor Meta Quest 3 y un portátil conectado a una pantalla de televisión para la presentación, permitiendo a los visitantes observar en tiempo real cómo los usuarios navegaban a través de los stands virtuales. Antes de cada prueba, uno de los autores de este artículo explicó a cada usuario cómo operar cada dispositivo y las funciones dentro de Spatial.io. El autor ingresó a los stands virtuales desde su dispositivo móvil y actuó como guía, mostrando las funcionalidades de los stands. Una vez que el usuario demostró una navegación fluida de la aplicación, se le otorgó plena libertad para explorar y probar cada función.

Las dos aplicaciones, gemelo digital y rediseño, se presentaron a la audiencia especializada en textiles como nuevas herramientas para complementar los stands físicos. Estas aplicaciones proporcionan una mejor interacción con los clientes desde cualquier parte del mundo, creando nuevos canales de venta y ofreciendo una nueva plataforma para la capacitación y la presentación de nuevos productos para la marca. Después de la experiencia, se invitó a los usuarios a completar una encuesta de siete preguntas (ver Fig. IV-32) sobre las aplicaciones de los stands virtuales y su experiencia en el MV. Veinticinco usuarios de entre 30 y 65 años respondieron a la encuesta, que tenía como objetivo medir la interacción con el mobiliario, el uso correcto del selector de texturas y la navegación a través del espacio.

Número	Tipo	Descripción de la pregunta
1	Cuantitativo	¿Cómo ha sido tu experiencia de navegación e interacción?
2	Cuantitativo	¿Te ha resultado sencilla la herramienta de cambio de texturas?
3	Cuantitativo	¿Te ha resultado útil la ayuda del guía y la posibilidad de conectar con otros usuarios?
4	Cuantitativo	¿Pudiste activar la herramienta de texturas sin ayuda externa?
5	Cuantitativo	¿Qué te ha parecido la aplicación del Gemelo Digital?
6	Cualitativo	¿Qué te ha parecido la aplicación del Rediseño?
7	Cualitativo	¿Recomendarías la experiencia?

Fig. IV-32. Los detalles del cuestionario distribuido después de la experiencia inmersiva.

El usuario podía responder en una escala del 5 (“Muy satisfactorio”) al 1 (“Muy insatisfactorio”). La puntuación promedio obtenida fue de 4.1, con una desviación estándar de 1.1, lo que indica que los usuarios estaban satisfechos con la experiencia. Solo tres encuestados calificaron alguna pregunta con un valor de 1, citando dificultades para navegar con las gafas de realidad virtual. Un total del 75% de los usuarios expresó satisfacción con el uso del carrusel de texturas, y solo dos tuvieron problemas al aplicarlo a la tapicería del mobiliario. Estos datos destacan áreas de mejora, como mejorar el tutorial explicativo y agregar ayudas visuales dentro del entorno virtual para guiar mejor a los usuarios en el manejo de las herramientas internas de la aplicación.

En general, la experiencia para la mayoría de los usuarios fue satisfactoria, aunque luego indicaron algunas mejoras que se podrían hacer, como integrar una narración, diseñar algunas ayudas interactivas, complementar la experiencia con un recorrido virtual que explique las funcionalidades de la aplicación y realizar pequeñas mejoras gráficas. Inicialmente, los usuarios se sorprendieron por las capacidades de la aplicación, y a medida que exploraban el espacio, comenzaron a surgir sugerencias constructivas para mejoras. Estas ideas se utilizaron para implementar mejoras, particularmente en el tutorial. (Ver Fig. IV-33). Se eliminó el texto explicativo y se añadió más información gráfica. Se añadieron letreros explicativos para indicar las funciones del teclado al usuario. En la Fig. IV-33, se pueden ver algunos ejemplos de los nuevos letreros explicativos añadidos. En la Fig. IV-34, se pueden ver ayudas visuales para mejorar el uso del carrusel.

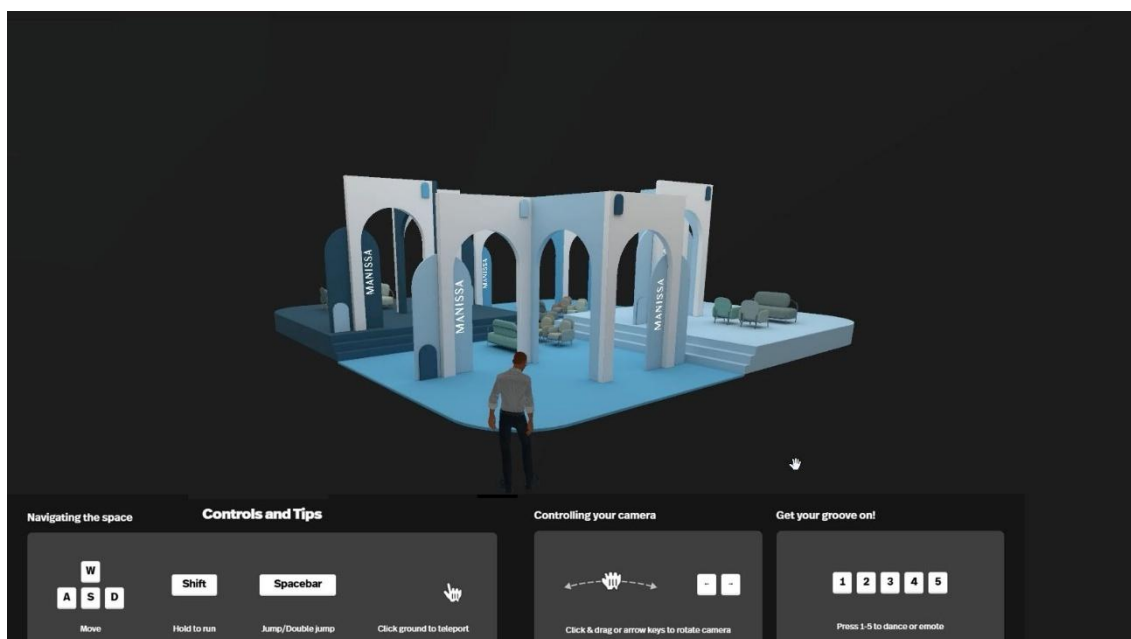


Fig. IV-33. Los detalles del menú de control integrado, para facilitar la navegación.



Fig. IV-34. Los detalles del menú flotante incorporado, para entender mejor el funcionamiento del carrusel.

Estos cambios tienen como objetivo mejorar la navegación y la experiencia del usuario en el espacio inmersivo. Para el futuro, los planes incluyen expandir la base de usuarios, así como el número de gafas de realidad virtual, para estudiar la interacción entre un mayor número de usuarios y las posibles relaciones entre ellos, a través de chat, voz, etc. [79,80]. Las mejoras y actualizaciones realizadas en el Spatial Toolkit Creator también serán estudiadas y aplicadas a las aplicaciones si se considera apropiado. Es importante destacar que aplicaciones como las presentadas en este artículo pueden beneficiarse significativamente la industria textil al aumentar sus ventas [81] al presentar sus productos de una manera diferente e interactiva. Sectores como el turismo [82], la hospitalidad [83], El marketing [84], o el diseño de moda y accesorios [85] ya están aprovechando tecnologías similares. Sin embargo, se debe considerar la privacidad y la protección de datos para los usuarios que interactúan con estas aplicaciones. Las pruebas realizadas para este estudio han sido anónimas, pero las implementaciones futuras podrían requerir la recopilación de datos de los usuarios, por lo que se deben tener en cuenta las regulaciones legales existentes sobre privacidad y protección de datos [86–89].

Aunque es una herramienta que facilita la conexión entre personas de todo el mundo [90], la accesibilidad y la inclusión, es poco probable que reemplace completamente las relaciones humanas. Otra consideración crítica es la sostenibilidad y el impacto ambiental de los futuros dispositivos de visualización. Estos deberían transitar hacia materiales menos contaminantes y reciclables, al igual que la progresión de la industria móvil hacia dispositivos más pequeños y ecológicos. Se espera que las herramientas de realidad virtual pasen por una transformación similar. Cabe señalar que Meta ya ha desarrollado un prototipo de gafas de realidad virtual, el Orion (ver Fig. IV-35), que son más ligeras, más sostenibles y más potentes que las actuales Meta Quest 3. Aunque estos dispositivos son actualmente muy caros, se espera que se conviertan en un objeto de uso cotidiano, combinando funcionalidades en un solo dispositivo, junto a los

teléfonos móviles, relojes, cámaras o auriculares actuales, etc., y con la posibilidad de disfrutar de VR o AR.



Fig. IV-35. Mark Zuckerberg presentando las nuevas gafas de Meta, las Orion.

4.5. Conclusiones

Este artículo describe los resultados de una prueba que exploró la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar y modernizar sectores industriales, con un enfoque particular en la industria textil. A través del uso del Spatial Creator Toolkit v1.60, lanzado a mediados de octubre, como herramienta para crear contenido en el MV, la prueba demostró cómo diseñar un gemelo digital de un stand físico en una feria comercial y cómo ejecutar un rediseño virtual del mismo stand. Las pruebas empíricas han demostrado que es posible diseñar y reproducir fácilmente un stand basado en los principios compositivos del diseño básico, complementado por herramientas de simulación de telas, como ayuda para vender estos productos. Este enfoque aumenta el compromiso, la inmersión y la experiencia general del usuario. Los hallazgos de esta investigación son aplicables a cualquier sector industrial que busque mejorar el atractivo de sus productos en ferias comerciales mientras reduce los costos de fabricación, transporte y montaje del stand. El potencial de estas tecnologías parece tan vasto que estamos seguros de que su aplicación en cualquier sector impulsará la evolución hacia la Industria 5.0. Esta nueva fase se centra en la sinergia entre humanos y máquinas, la mejora de la producción, y la promoción de una industria más humana y sostenible. A diferencia de la Industria 4.0, que prioriza la automatización, la digitalización y el uso de la AI, la Industria 5.0 da un paso más al integrar de manera más prominente la creatividad humana y la personalización en los procesos industriales. En este contexto, el bienestar humano y la sostenibilidad ambiental son clave, alineándose estrechamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por eso, el rumbo de la investigación futura es seguir explorando la aplicación de estas tecnologías y conocimientos a otros sectores industriales, como la cerámica y el mobiliario. Además, hay potencial para mejorar el papel de la MV en funciones de formación y educación, así como en la mejora industrial, en el ámbito de la sostenibilidad y el medio ambiente. Consideramos que su aplicación en empresas dedicadas a la fabricación de stands es muy factible. Estas tecnologías también tienen un gran potencial para que las empresas ofrezcan nuevos servicios más ecológicos y sostenibles a sus clientes actuales. Proponemos el siguiente artículo de investigación, el estudio de gemelos digitales en la fabricación de productos. Nuestra intención es modelar una máquina de inyección

de plástico en 3D y aplicarla a través de Spatial al MV. El usuario podrá interactuar con la máquina e ingresar diferentes valores para configurar la pieza (material, temperatura, tiempos de inyección...).

Creemos que el uso de gemelos digitales en la industria ayudará a capacitar a los jóvenes en las universidades y a los operadores en las fábricas, sin tener que emplear el tiempo utilizando una máquina real, evitando riesgos innecesarios y reduciendo significativamente el consumo de energía. Otro objetivo para futuras investigaciones es la creación de un manual de mejores prácticas para el diseño de contenido en MV. Esta guía debería esbozar y detallar los pasos necesarios para crear contenido atractivo de acuerdo con los principios del diseño básico, permitiendo la gestión efectiva de los conceptos de composición de formas y aplicación de color para mejorar la usabilidad. Estamos convencidos de que la creación de futuros espacios MV requerirá recurrir a pautas de diseño adecuadas. Este enfoque transformará nuestras incursiones virtuales en convencionales o excepcionales.

Capítulo 5

5. Aplicación de gemelos digitales en el Metaverso, para la formación en inyección de plásticos.

El presente estudio investiga la aplicación de gemelos digitales en el ámbito del Metaverso, específicamente en la formación relacionada con la inyección de plásticos. Se propone que esta tecnología actúa como una herramienta educativa eficaz, permitiendo la simulación virtual de todo el proceso de manufactura, desde la preparación de moldes hasta la obtención del producto final. La hipótesis planteada sugiere que el uso de gemelos digitales puede mejorar tanto el aprendizaje práctico como la comprensión teórica, eliminando la necesidad de instalaciones físicas costosas y reduciendo el desperdicio de materiales.

Para llevar a cabo esta investigación, se ha desarrollado un modelo 3D de una máquina de inyección de plásticos, que permite a los estudiantes interactuar y ajustar parámetros críticos como la temperatura del molde y del material, la velocidad de inyección, la presión aplicada, y el tiempo de enfriamiento y solidificación. Esta interacción proporciona a los alumnos la oportunidad de observar en tiempo real los efectos de sus decisiones sobre el producto final, facilitando un aprendizaje experimental profundo.

Los datos configurables en la máquina virtual han sido previamente analizados en condiciones reales, utilizando dos tipos de materiales y dos piezas diferentes. Este enfoque no solo busca formar a los estudiantes de manera segura, sino también optimizar procesos industriales, contribuyendo al ahorro de costos y recursos, así como a la mejora en el diagnóstico de problemas y análisis de defectos.

En conclusión, los gemelos digitales ofrecen una oportunidad significativa para revolucionar la educación en la inyección de plásticos, brindando una experiencia de aprendizaje inmersiva y segura, y preparando a los estudiantes para los retos de la Industria 5.0 y las tecnologías avanzadas en fábricas inteligentes.

5.1. Introducción

El Metaverso tiene aplicaciones en una amplia variedad de áreas, gracias a su capacidad para crear entornos virtuales inmersivos e interactivos, y permitir a cualquier usuario del mundo poder interactuar con el espacio y con otros usuarios. En turismo y hoteles [91], arquitectura [92], stands virtuales [93] la óptica [94] márketing [95] y gemelos virtuales en tiendas de ropa [96]. El sector industrial también se ha visto beneficiado por el MV, el cual, mediante gemelos digitales [97], permite monitorizar en tiempo real, réplicas digitales de fábricas, líneas de producción y ensamblaje o maquinaria para optimizar los procesos industriales. Mejora el entrenamiento y la capacitación de los operarios, pues mediante simulaciones de VR/AR, permite el aprendizaje de uso de maquinaria compleja y reduce riesgos, al permitir la práctica en entornos virtuales, antes de interactuar con equipos reales. También facilita la formación en riesgos laborales, mejorando la respuesta ante incendios o emergencias. En esta investigación aplicamos las técnicas en la creación de gemelos digitales en el Metaverso aplicado al área de inyección de plásticos. Esto nos permite modelar máquinas de inyección de plásticos, moldes y procesos de producción, que recrean su funcionamiento, comportamiento del material y ciclos de producción, permitiendo monitorear y optimizar parámetros como presión, temperatura, velocidad de inyección, defectos como rechupes y líneas de soldadura, o identificando cuellos

de botella y optimizando tiempos de ciclo. Son muchos los beneficios que aporta el Metaverso. Permite la predicción y prevención de riesgos laborales, al prever fallos en la maquinaria o defectos en el producto, lo que minimiza costos de tiempos muertos. Optimiza el diseño de producto, ya que con simulaciones avanzadas se pueden probar múltiples configuraciones y diseños en un entorno virtual antes de fabricarlos físicamente. Potencia la sostenibilidad, pues al simular el proceso completo, se puede reducir el desperdicio de material y energía. Mejoran la personalización del producto a inyectar, ya que los clientes pueden visualizar prototipos virtuales en el Metaverso, colaborando directamente en el diseño antes de la fabricación.

La combinación de gemelos digitales y el Metaverso representa una gran oportunidad para transformar el sector de la inyección de plásticos. Permite avanzar hacia una producción más eficiente, sostenible y colaborativa. Sin embargo, para aprovecharlo plenamente, es clave superar las barreras tecnológicas y de costos, además de contar con un equipo capacitado. En este artículo mostramos cómo es posible crear un Metaverso a bajo coste, para democratizar el acceso a esta tecnología. Se ha utilizado el software 3d Blender, para modelar y texturizar la máquina. Estos modelos se han exportado a Unity, en su versión gratuita, para poder programar las interacciones del avatar, bajo una plantilla de Spatial.io, plataforma de Metaverso, que permite a sus usuarios, el acceso en modo tester a entornos 3d virtuales inmersivos. La plataforma combina diseño intuitivo, herramientas colaborativas y avatares realistas, haciendo que sea ideal para aplicaciones creativas, empresariales y sociales.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Metodología para el diseño de gemelos digitales

Los parámetros se han obtenido a través de pruebas experimentales en una máquina hidráulica de inyección real (Haitian 250 TN). Se han empleado dos moldes distintos y dos materiales distintos, ABS y PP. Ver Tabla 1.

Table 1. Description of parts characteristics

Number	Mold 1	Mold 2
<i>Material</i>	<i>PP</i>	<i>ABS</i>
<i>Part weight (grs)</i>	<i>75</i>	<i>148</i>
<i>Mold cavities</i>	<i>2</i>	<i>2</i>

Las dos piezas se han inyectado buscando los parámetros necesarios para obtener una pieza correcta. Con estos datos, se han creado “combinaciones incorrectas de parámetros”. Por un lado, tenemos dos configuraciones correctas y únicas de parámetros una para cada uno de los moldes y, por otro lado, tenemos un conjunto de varias combinaciones de parámetros que producen piezas con diferentes defectos. Las distintas combinaciones incorrectas de parámetros generan defectos concretos en las piezas, estas combinaciones incorrectas corresponden a piezas defectuosas como pieza con falta de material, piezas con rebabas, piezas con ráfagas, etc. El procedimiento del proceso formativo consiste en que el alumno, a través de la plataforma se va paseando por las distintas pantallas que corresponden a fases del proceso de inyección y muy similares a las máquinas actuales, en las cuales van introduciendo los parámetros que el propio alumno considere a partir de varias opciones que se proponen, al final el alumno tendrá que alinear de forma correcta 20 posibles variables y para cada configuración de variables introducida por el alumno en la máquina virtual, el sistema le devolverá un resultado, hasta encontrar la combinación correcta de parámetros. El alumno tras introducir las distintas

combinaciones presionará sobre el botón de “máquina” y obtendrá un resultado que mostrará consejos y ayudas para encontrar la combinación adecuada. Ver Fig V-1. El ejercicio no se dará por correcto hasta no encontrar la combinación adecuada que hace que la pieza sea buena, mientras tanto en su viaje formativo, sigue aprendiendo a través de los consejos que se van mostrando al seleccionar opciones incorrectas.



Fig. V-1. Imágenes ejemplo de los mensajes que aparecen tras pulsar el botón máquina.

El número de variables contempladas son 20, por lo tanto, hay 400 combinaciones posibles, de las cuales solo dos combinaciones son las correctas, por otro lado, en esta primera fase dispone de 6 pantallas distintas más los diversos avisos/consejos que aparecen con los resultados.

5.2.2. Modelado, texturizado e interacciones con el gemelo digital.

El modelado 3d de la máquina se realizó 3ds Max de Autodesk (Versión 2025) a partir de fotografías y planos de máquinas inyectoras reales. Se utilizaron técnicas de LowPoly (bajo modelado poligonal), para optimizar el modelo 3d, pensando en una navegación fluida en el MV. Ver Fig. V-2

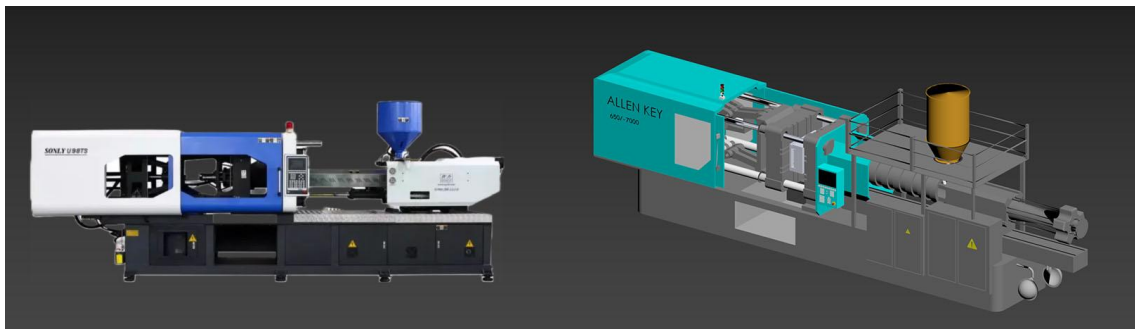


Fig. V-2. Comparativa entre el modelo real de la inyectora y el modelo 3d creado.

Para texturizar el modelo se utilizaron colores planos para la estructura de la máquina e imágenes para las señales de advertencia. A partir de aquí se exportó el modelo 3d en formato fbx a Unity (versión 2022.3) para poder implementar las animaciones e interacciones de la máquina con el avatar. Se eligió Unity sobre otros paquetes de diseño para MV, como Unreal Engine (versión 5) o Nvidia Omniverse (versión 2025), por su fácil implementación con la plantilla de Spatial.io. Es una plataforma gratuita de creación de espacios inmersivos que lleva integrado todo el sistema de personalización de avatares y herramientas de socialización, como chat por texto o por voz. De este modo, nosotros como diseñadores, sólo nos tenemos que encargar de modelar la máquina con 3ds Max, programar las interacciones con Unity y exportarlo a Spatial. Ver Fig. V-3.

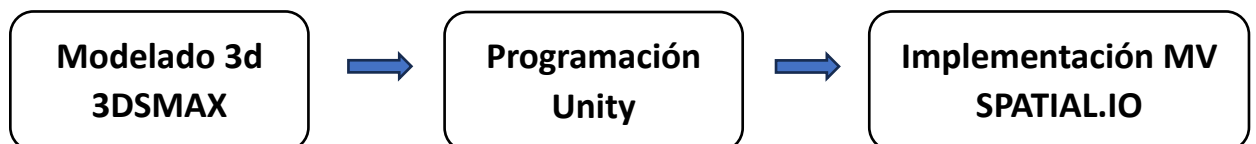


Fig. V-3. Descripción del proceso de creación de la aplicación inmersiva.

Dentro de Unity, se diseñó un sistema de menús, para que el usuario, paso a paso, pudiera configurar los procesos, para inyectar. Se prepararon dos tipos de respuesta para cada subproceso, a partir de los datos reales obtenidos. El usuario tiene que elegir en cada caso, la respuesta correcta y poner en marcha la inyectora virtual. Si ha elegido correctamente las respuestas, se iniciará la animación 3d de inyectado de la pieza. En caso contrario, se le indica al avatar cual es el motivo de la mala configuración y cual el resultado de la pieza obtenida. A la derecha, aparecerán las ranuras que deben ser completadas con los elementos de la interfaz. Se debe definir cada botón como una variable que posteriormente el manager almacenará para comprobar los resultados. En la pantalla del molde, hay tres opciones a elegir, con tres bloques de respuestas y un botón para comprobar los resultados. Una vez se han comprobado, las respuestas correctas, aparecerán en verde y las incorrectas en rojo. Si todas las respuestas son correctas, se iniciará la animación de la inyección. Para hacer más atractiva la aplicación, se rediseñaron cada una de las pantallas, modificando el fondo y las imágenes de los iconos. Con esto se consiguió mejorar el aprendizaje de cada uno de los pasos de configuración. Ver Fig. V-4, y Fig. V-5.

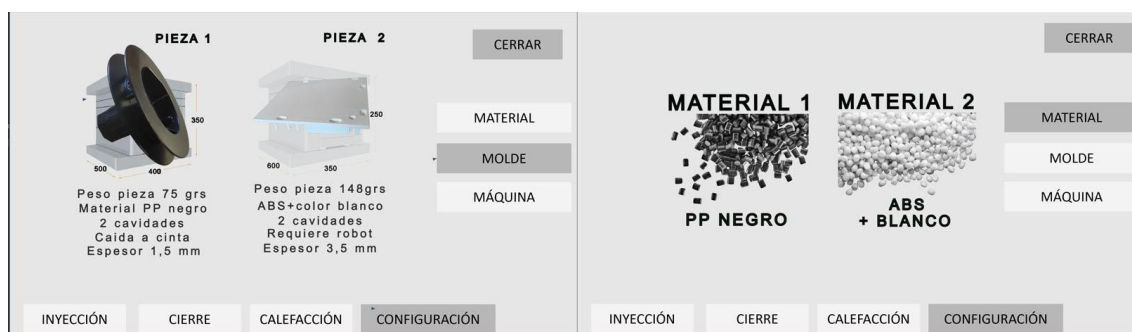


Fig. V-4. Rediseño de las pantallas de selección de pieza y material.

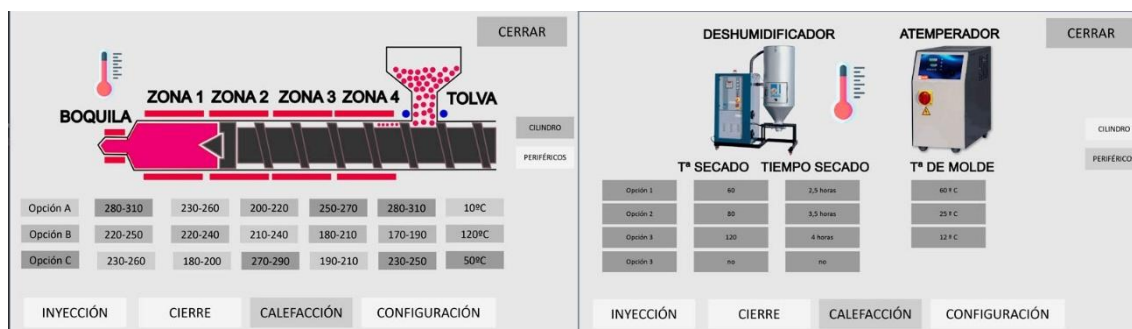


Fig. V-5. Rediseño de las pantallas de selección de temperaturas y periféricos en el área de calefacción.

5.2.3. Insertion multimedia on SPATIAL.IO.

Una vez creados el modelado, la texturización y la programación del menú de configuración de la máquina, exportamos el conjunto, mediante una plantilla de Unity que proporciona Spatial. Cuando el usuario entra por primera vez, se le asigna un avatar que puede personalizar. El entorno 3d que se ha creado para ubicar la máquina, simula una nave industrial. Otra de las ventajas que ofrece Spatial es la posibilidad de permitir interactuar al mismo tiempo hasta 50 usuarios online. En el centro de la máquina se ha configurado un icono para activar la entrada al menú de configuración. Aparece la primera pantalla de selección de molde y paso a paso, el usuario configura la operación de inyección. Ver Fig. V-6

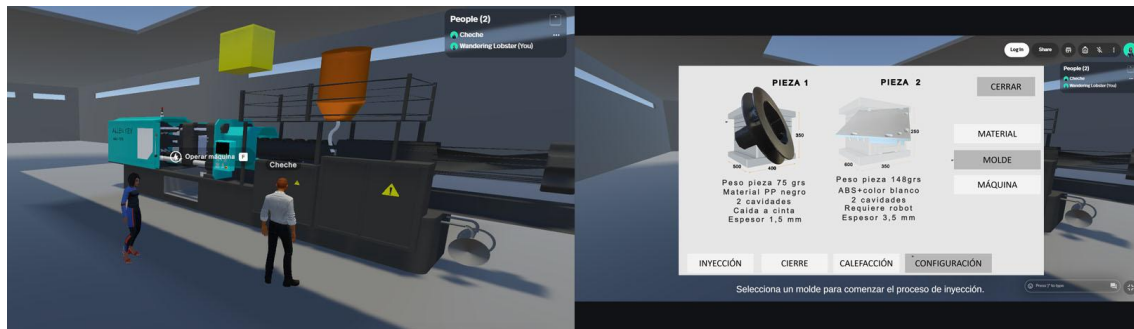


Fig. V-6. Captura de varios usuarios utilizando la app al mismo tiempo online y detalle de la primera pantalla de configuración.

5.2.4. Diseño de investigación.

Para testear el gemelo digital de inyección de plásticos diseñado, se utilizaron las gafas de VR, Meta Quest 3 y un PC. Las pruebas se realizaron en uno de los laboratorios del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València, a 90 alumnos de la asignatura de Diseño Asistido por Ordenador (DAO) del Grado de Diseño Industrial. Nuestra idea era que los alumnos, de modo individual, testearan la aplicación en ambos dispositivos, para evaluar las ventajas e inconvenientes de cada uno. Previo a cada prueba, un técnico llevó a cabo un breve tutorial para enseñar cómo colocar las gafas correctamente, y usar los mandos y sus botones para navegar por el entorno y los menús. También se explicaron las herramientas de interacción social, la creación de avatares, y las funciones para capturar imágenes y videos. Además, se informó a los usuarios sobre la posibilidad de experimentar mareo, recomendándoles realizar movimientos de manera suave y pausada. Durante el experimento, el técnico interactuó con los participantes de manera virtual utilizando su propio avatar, con el propósito de guiar al usuario en el recorrido y garantizar el uso adecuado de los menús de la máquina de inyección. Una vez que el usuario demostraba familiaridad y destreza en el manejo de la interfaz, se le permitía explorar libremente el entorno virtual sin restricciones de tiempo. Este mismo procedimiento se aplicó a los participantes que utilizaron la aplicación desde un ordenador portátil, integrándolos en el mismo entorno virtual para que pudieran coexistir con los individuos que, simultáneamente, realizaban la prueba utilizando gafas de realidad virtual (VR). Las interacciones y respuestas de los usuarios fueron registradas en video durante cada sesión experimental, con el fin de analizarlas posteriormente. La prueba concluía cuando el participante decidía abandonar voluntariamente el escenario virtual.

5.2.5. Análisis de datos.

Para validar la metodología empleada en los ensayos, se realizaron entrevistas a los participantes y se aplicaron pruebas para evaluar el nivel de satisfacción asociado con la experiencia inmersiva mediante el uso de gafas de VR (Caso 1) y un ordenador portátil (Caso 2). A cada usuario se le entregaron dos cuestionarios estandarizados: el IPQ (Igroup Presence Questionnaire) [77] y el SUS (System Usability Scale) [78]. El Igroup Presence Questionnaire (IPQ) es una herramienta para medir la sensación de presencia experimentada en entornos virtuales. Este cuestionario, compuesto por 14 preguntas organizadas en una escala Likert de 7 puntos, evalúa diferentes dimensiones de la experiencia inmersiva. El System Usability Scale (SUS), desarrollado por John Brooke en 1986, consta de 10 preguntas diseñadas para evaluar la usabilidad de sistemas y productos tecnológicos. Este cuestionario combina afirmaciones positivas y negativas para minimizar sesgos, abordando aspectos de usabilidad y facilidad de aprendizaje. Las preguntas se responden en una escala Likert de 5 puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de

acuerdo) y generan un puntaje global de 0 a 100. Este puntaje no representa un porcentaje, sino un valor relativo que permite comparar diferentes sistemas y determinar si son fáciles de usar

5.3.- Resultados y discusión

Los test se realizaron a 45 parejas (Ver Fig. V-7) de alumnos de la asignatura de DAO (Diseño Asistido por Ordenador) del Grado de Diseño Industrial del campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València. Un técnico les explicó el funcionamiento de la aplicación y los acompañó con un NPC (Non Player Character), dentro del escenario virtual. Una vez adquirían soltura en la navegación, se les dejaba que experimentan a su aire, durante un periodo de quince minutos. Cada uno de los miembros experimentó la aplicación desde un PC y el otro desde unas gafas de VR, modelo Meta Quest 3. Una vez terminada la experiencia, se intercambiaban los roles. Se identificaron comportamientos distintos: el usuario de gafas de VR experimentó una mayor sensación de inmersión, aunque también presentó un leve mareo. Pasó más tiempo observando la máquina y la nave de alrededor, que experimentando la aplicación. Por otro lado, el usuario del PC dedicó más tiempo a probar las herramientas de correr y saltar, así como las funciones sociales de la plataforma Statial.io, como el chat, la realización de bailes y el envío de emoticonos. El usuario de VR se enfocó principalmente en explorar el entorno y desplazarse por el espacio. La interacción entre ambos usuarios fue fluida, intercambiando emoticonos y mensajes de texto mientras conversaban sobre el diseño de la máquina y su aplicación, lo que enriqueció la experiencia virtual. Sin embargo, el usuario de VR encontró dificultades al utilizar ciertos menús e iconos y sufrió mareos cuando los movimientos de navegación eran demasiado bruscos.

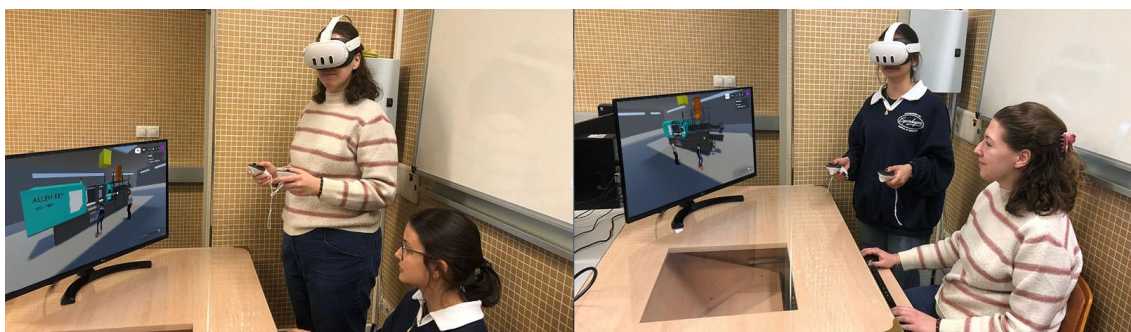


Fig. V-7. Detalle de una pareja de alumnas que realizó el test de la aplicación.

Posteriormente, se le invitó a cada usuario a contestar las preguntas del IPQ y del SUS. En la Fig. V-8, se indican la media y la desviación obtenidas en los cuestionarios IPQ y cada subescala del cuestionario en porcentaje, respecto a la media y la desviación obtenidas en los cuestionarios.

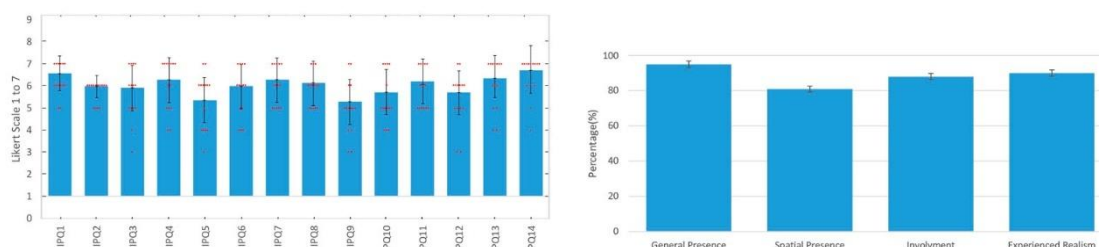


Fig. V-8. Listado de las preguntas del cuestionario realizado a los alumnos.

Los datos obtenidos indican que el 94,56% de los encuestados, experimentaron una Presencia General, con una desviación del 1,52%. Esto indica que los usuarios tuvieron una sensación de inmersión alta, dentro del Entorno Visual (VE). En cuanto a la Presencia Espacial, se obtuvo una

puntuación de un 81,44% con una desviación del 1,19%, lo que indica que los usuarios tuvieron la sensación de estar físicamente presentes dentro del gemelo digital del stand. El 88,22% de los encuestados, con una desviación del 1,35%, afirmaron que tuvieron una participación alta dentro del VE. En cuanto al Realismo Experimentado, el 89,65% de los encuestados, con una desviación del 1,05%, afirmó sentirse inmersos dentro del VE. Estos datos respaldan nuestro primer objetivo, crear un gemelo digital de una máquina de inyección de plásticos para que los usuarios, puedan testear una máquina de este estilo, sin la necesidad de realizarlo con una máquina real. Respecto a los datos obtenidos en el cuestionario SUS, el 89,05% de los encuestados, con una desviación estándar del 3,35%, indicaron que la usabilidad de la aplicación era alta. Ver Fig. V-9. Cabe destacar que la mayoría de usuarios indicó las ventajas de este tipo de aplicaciones y su intención de utilizarlas frecuentemente. Indicaron que la experiencia había sido gratificante y fluida, y que era fácil su aprendizaje y uso. Estos datos corroboran nuestra hipótesis de que, con un gemelo digital, es posible mejorar el aprendizaje en el manejo de maquinaria industrial.

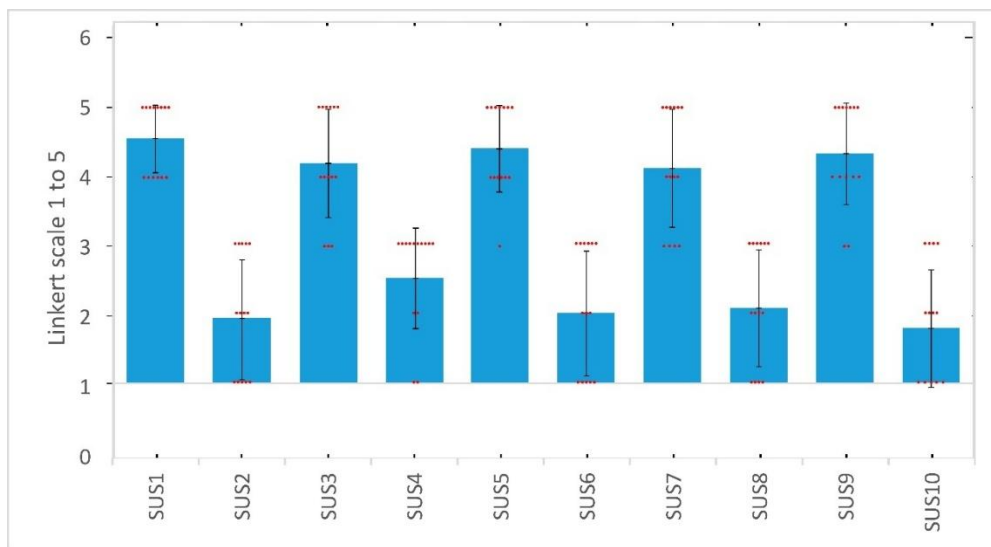


Fig. V-9. Resultados obtenidos en el test SUS.

Finalmente, después de responder a los test IPQ y SUS, se invitó a los usuarios a responder un sencillo cuestionario. final de 7 preguntas, sobre las aplicaciones de VR y su experiencia en el MV. El objetivo de este cuestionario era medir la interacción con el escenario, la nave, la máquina y su configuración. Ver Fig. V-10.

Número	Descripción de la pregunta
1	¿Cómo ha sido tu experiencia de navegación e interacción?
2	¿Te ha resultado sencilla la herramienta de cambio de texturas?
3	¿Te ha resultado útil la ayuda del guía y la posibilidad de conectar con otros usuarios?
4	¿Pudiste activar la herramienta de texturas sin ayuda externa?
5	¿Qué te ha parecido la aplicación del Gemelo Digital?
6	¿Qué te ha parecido la aplicación del Rediseño?
7	¿Recomendarías la experiencia?

Fig. V-10. Listado de las preguntas del cuestionario realizado a los alumnos.

Los usuarios podían responder en una escala del 5 (“Muy satisfactorio”) al 1 (“Muy insatisfactorio”). La puntuación media obtenida fue de un 4,1 con una desviación estándar de 1,1, lo que nos indica que el usuario quedó satisfecho con la experiencia. Solamente tres encuestados, calificaron alguna pregunta con un valor de 1, pues encontraron dificultades en la navegación con las gafas de VR. El 75% de los usuarios manifestó satisfactoriamente la utilización de la aplicación y sólo dos, tuvieron problemas para utilizarla. Estos datos reveladores, servirán para mejorar tanto el tutorial explicativo, como para añadir ayudas visuales dentro del entorno virtual, para ayudar al usuario a manejar mejor las herramientas internas de la aplicación. En general la experiencia para la mayoría de los usuarios fue satisfactoria, pero se indicaron en discusiones posteriores a la experiencia, mejoras a realizar, como voz en off y ayudas interactivas, un tour virtual explicando las funcionalidades de la aplicación y mejoras gráficas. En un principio los comentarios activaron el efecto “Wow, me encanta” y conforme el usuario iba explorando el espacio se fueron indicando opciones de mejoras “Es muy divertido y útil para visualizar en tiempo la configuración de la máquina, pero marea un poco” “¿Este tipo de aplicaciones se pueden aplicar a otros sectores como el corte por láser?” “He estado algo perdido al principio, pero luego tenía la sensación de estar totalmente integrado en la nave de inyección. Es una herramienta muy útil y fomenta el trabajo en equipo”. Estas respuestas tan valiosas, sirvieron para mejoras posteriores, sobre todo en el tutorial previo. Se eliminó texto explicativo del mismo y se incorporó más información gráfica. También se insertaron carteles explicativos, para indicar al usuario las funciones del teclado. En la Fig. V-11, se pueden apreciar algunos ejemplos de los nuevos carteles explicativos añadidos para mejorar la navegabilidad.



Fig. V-12. Detalle de los carteles introducidos, para ayudar al usuario a mejorar su navegabilidad.

Estos cambios tienen como objetivo mejorar la navegación y la UX, en el espacio inmersivo. Para un futuro, se prevé ampliar el número y diversidad de usuarios, así como el de gafas de VR, para estudiar la interacción entre un mayor número de usuarios, y las posibles relaciones entre ellos, vía chat, por voz, etc y mejorar su espectro de edades...También las mejoras y actualizaciones que se vayan efectuando en el Toolkit Creator de Spatial, serán estudiadas y aplicadas a las aplicaciones si así se cree conveniente. Es importante destacar, que aplicaciones como las presentadas en este artículo, pueden ayudar mucho al sector industrial del plástico, no solo en el campo de formación universitaria [98-100], sino como herramienta para mejorar las ventas de los fabricantes de máquinas de inyección [101-104]. Ofrecer al potencial comprador la posibilidad de probar la máquina online, puede ser el detalle que ayude a realizar la compra. Aunque es una herramienta que facilita la conexión entre personas de todo el mundo, la accesibilidad y la inclusión, hay que tener en cuenta que no va a sustituir al 100%, las relaciones

humanas. También hay que tener en cuenta la sostenibilidad y impacto ambiental de los dispositivos de visualización en un futuro. Deberán derivar hacia elementos que sean menos contaminantes y reciclables. De igual modo que ha pasado en la industria del móvil, en la que los dispositivos se han reducido de tamaño y con materiales más respetuosos, las herramientas de VR, sufrirán el mismo cambio. Ya existe por parte de Meta, un prototipo de gafas de VR, las Orion, más ligeras, sostenibles y potentes, que las existentes Meta Quest 3. De momento, tienen un precio muy elevado, pero con el tiempo se convertirán en un objeto tecnológico de uso cotidiano que agrupe en un único dispositivo, los actuales móviles, relojes o auriculares con la posibilidad de disfrutar de la VR o RA.

5.4.- Conclusiones

Este artículo describe como utilizar las nuevas tecnologías para potenciar y modernizar, sectores industriales, como el del plástico. Mediante la utilización del Spatial Creator Toolkit v1.60, lanzado a mediados de octubre de 2024, como herramienta para crear contenido en el MV, se ha demostrado cómo crear un gemelo digital de una máquina de inyección de plásticos y su aplicación para configurarla y testarla. Las pruebas empíricas han demostrado, la mejora en el aprendizaje en este tipo de maquinaria industrial. Además, se ha demostrado que incrementa la participación, la inmersión y la experiencia general del usuario. Esta investigación demuestra que estas nuevas tecnologías, son aplicables a cualquier sector industrial y que mejoran el atractivo del aprendizaje y reducen los costes de tiempo y energía, realizando las mismas tareas sobre una máquina real. Este estudio ha demostrado también que, mediante la utilización del MV, se fomenta el trabajo y la colaboración en equipo. El camino de las siguientes investigaciones, seguirá por aplicar estos conocimientos a otros sectores industriales, como la cerámica o el mobiliario, o a otros sectores como los eventos o el mundo de los museos.

Es tan grande el potencial de estas tecnologías, que estamos seguros que su aplicación en cualquier sector, beneficiará su paso hacia la Industria 5.0, más enfocada en la colaboración y sinergia entre humanos y máquinas para mejorar la producción y fomentar una industria más humana y sostenible. A diferencia de la Industria 4.0, que prioriza la automatización, la digitalización y el uso de AI, la Industria 5.0 da un paso más allá al integrar la creatividad humana y la personalización en los procesos industriales, teniendo en cuenta tanto el bienestar humano como la sostenibilidad ambiental. Otros de los objetivos, para investigaciones futuras, es la creación de un manual de buenas prácticas, para la creación de contenido en el MV. Una guía que defina y detalle, que pasos se deben seguir, para crear un contenido atractivo en composición, combinación de colores y usabilidad. Igual que cuando se construye un mueble o una casa, existe un estudio color, materiales, ergonomía, usabilidad...en la creación de los futuros espacios del Metaverso, será necesario seguir unas pautas correctas de diseño. Esto nos diferenciará entre un escenario normal y uno excepcional.

Capítulo 6

6. El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso.

Este estudio examina las oportunidades y repercusiones derivadas de la convergencia entre la realidad virtual, el metaverso y los gemelos digitales en la transposición de actos conmemorativos previamente desarrollados en contextos físicos, poniendo de relieve su impacto en los procesos de digitalización y en la transformación de los modelos de interacción social. La realidad virtual se considera una tecnología inmersiva que posibilita experiencias multisensoriales avanzadas, integradas en entornos virtuales persistentes, como es el caso del metaverso. Asimismo, se aborda de forma detallada el concepto de gemelos digitales, entendidos como representaciones virtuales precisas de sistemas, procesos físicos u objetos, y se analiza su utilidad en tareas de simulación, análisis, prevención, anticipación y optimización operativa.

En el marco de los eventos virtuales, se investiga cómo la integración de estas tecnologías permite la creación de entornos interactivos, adaptables y escalables, capaces de atender la diversidad sociocultural y con alcance global. Como caso de estudio, se desarrolló un gemelo digital de la plaza Ferrándiz y Carbonell —conjunto arquitectónico emblemático del campus de Alcoy— para la implementación virtual del acto conmemorativo del 50 aniversario de la incorporación, en 1972, de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Alcoy a la Universitat Politècnica de València. El entorno virtual fue evaluado mediante pruebas de validación con la participación de usuarios diversos, incluyendo tanto estudiantes como docentes, con el fin de valorar su usabilidad, funcionalidad y detectar posibles mejoras. A través de este trabajo, se identifican las principales oportunidades y desafíos asociados a la adopción de estas tecnologías emergentes, destacando su potencial para reconfigurar entornos digitales, especialmente aquellos orientados a la socialización y el aprendizaje.

Este caso específico permite ofrecer una visión global sobre el papel estratégico del metaverso como ampliación perceptiva del entorno y sobre el potencial de los gemelos digitales para transformar el ecosistema digital del futuro.

6.1. Introducción.

La evolución tecnológica ha dado lugar a un ecosistema digital innovador, donde conceptos como la realidad virtual (VR), el metaverso (MV), los gemelos digitales (DT) y la creación de eventos virtuales están transformando profundamente diversos sectores industriales y sociales. Este artículo explora la intersección de estas tecnologías, destacando sus aplicaciones, beneficios y desafíos. La VR permite experiencias inmersivas que potencian el aprendizaje, el entretenimiento y la colaboración a distancia. Por su parte, el MV se perfila como un espacio digital compartido, donde las interacciones humanas se amplifican mediante entornos tridimensionales persistentes. Los gemelos digitales, representaciones virtuales de objetos o sistemas físicos, optimizan procesos y facilitan la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. Finalmente, la creación de eventos virtuales abre nuevas posibilidades en el mundo del marketing, la educación y el trabajo remoto, ofreciendo experiencias atractivas y accesibles a nivel global.

La adopción y el desarrollo de estas tecnologías han cobrado una relevancia sin precedentes en la sociedad contemporánea, redefiniendo la manera en que las personas interactúan, aprenden y trabajan con el entorno. De manera simultánea, a medida que estas herramientas evolucionan,

sus implicaciones en la economía, la cultura y la comunicación son más significativas. Para entender mejor el impacto de estas tecnologías, es necesario analizar sus antecedentes históricos y su desarrollo a lo largo del tiempo. En el caso de la realidad virtual, evoluciona desde la década de 1960 hacia las modernas aplicaciones en videojuegos, simulaciones de entrenamiento y entornos colaborativos contemporáneos. Del mismo modo, el concepto del metaverso, influenciado por la literatura de ciencia ficción y la evolución de las plataformas digitales, ha conseguido crear un ecosistema inmersivo con economías virtuales y modelos de interacción avanzados. En áreas como el turismo [105], la hostelería [106], la moda [107] o los museos virtuales [108], se ha implementado y está proporcionando un aumento en los ingresos a las empresas.

Por otro lado, los eventos virtuales cobraron especial relevancia tras la pandemia de COVID-19, momento en el cual empresas, instituciones educativas y organizadores de conferencias adoptaron soluciones digitales en momento en que se debía mantener la conectividad a una escala global. Tecnologías como la transmisión en vivo, los espacios interactivos en 3D y la integración de AI han mejorado la experiencia del usuario en entornos virtuales, permitiendo una participación abierta y sin barreras geográficas.

En el caso de los gemelos digitales, su aplicación en la industria 4.0 está permitiendo mejorar la eficiencia en la manufactura, el mantenimiento predictivo y la optimización de sistemas complejos, mediante la utilización de modelos virtuales que replican fielmente sus contrapartes físicas [109-113]. Estas representaciones digitales están siendo muy efectivas en sectores como la salud, la ingeniería y la gestión de infraestructuras urbanas, donde las simulaciones y el análisis predictivo pueden reducir costos y permiten mejorar la toma de decisiones [114-117].

En el ámbito de la educación, los gemelos digitales se utilizan para la creación de entornos de experimentación en el campo de la ciencia, ingeniería y medicina, evitando riesgos [118,119]. Actuando de esta manera como modelos virtuales que pueden predecir el rendimiento de los estudiantes y paralelamente adaptar el contenido académico [120,121]; como réplicas de máquinas y procesos industriales, capacitantes en entornos realistas, dentro de los laboratorios de experimentación práctica [122,123], y operando como recreación de entornos históricos en 3D, para su exploración interactiva [124,125].

Por último, los gemelos digitales desempeñan un papel clave en la optimización del rendimiento y la eficiencia operativa en diversas industrias. Se están aplicando en diversos ámbitos, destacando su uso en el sector de la salud [126] para optimizar procesos hospitalarios, prever la demanda de servicios y gestionar recursos. En éste facilitan la planificación y diseño de infraestructuras hospitalarias, mejorando la construcción y renovación de instalaciones. Además, permiten la monitorización del estado de los pacientes y la personalización de tratamientos. Su implementación en la formación médica mediante simulaciones interactivas reduce errores en las cirugías y las emergencias. Instituciones como Mayo Clinic, Cleveland Clinic, Johns Hopkins Medicine y Partners HealthCare han integrado esta tecnología en la optimización de sus servicios. Por ejemplo, el gemelo digital de Philips Healthcare funciona como una réplica virtual precisa de un órgano o sistema biológico, creada a partir de datos obtenidos de imágenes médicas avanzadas (RM, TC, ecografía), pruebas genéticas, sensores biométricos e historias clínicas. Su aplicación permite a los profesionales de la salud simular y predecir para dictaminar tratamientos más precisos y de manera más rápida. Además, agiliza el análisis predictivo de la respuesta del paciente a distintos procedimientos y terapias, mejorando la planificación médica, reduciendo los riesgos clínicos. El caso de Living Heart Project de Dassault Systèmes, es una aplicación avanzada de los gemelos digitales en cardiología con la que se crean modelos virtuales altamente detallados del corazón humano para simular y optimizar tratamientos, evaluar la eficiencia de dispositivos médicos y planificar cirugías sin intervención directa en pacientes. Su

implementación está optimizando la comprensión y el abordaje de enfermedades cardíacas, proporcionando herramientas de precisión para la práctica médica y la innovación en salud cardiovascular.

Los gemelos digitales comienzan a ser fundamentales en la industria del transporte [127,128]. En el ámbito ferroviario, Deutsche Bahn ha implementado esta tecnología para optimizar la operación, el mantenimiento y la gestión de su red ferroviaria, mejorando la eficiencia operativa, la seguridad, la planificación de infraestructuras y la sostenibilidad del transporte. En aviación, Boeing los utiliza para simular el comportamiento de aeronaves, optimizar el diseño, mejorar la seguridad, la eficiencia operativa y reducir costos [129]. Destaca su aplicación en la serie 787 Dreamliner, donde esta tecnología ha revolucionado el diseño, mantenimiento y operación de aeronaves. Todo esto, promueve una aviación más eficiente y sostenible, y se prevé que su impacto crezca en la industria aeroespacial. frase en azul arriba En el sector aeronáutico, Rolls-Royce ha implementado esta tecnología para la monitorización en tiempo real del rendimiento de motores, como el Trent XWB utilizado en aviones Airbus A350, optimizando su ciclo de vida y mantenimiento predictivo [130].

En la esfera de la automoción, BMW ha integrado gemelos digitales en su planta de Regensburg, (Ver Figura VI-1), permitiendo la simulación del ensamblaje para reducir tiempos de producción [131]. Mercedes-Benz aplica esta tecnología en su fábrica de Sindelfingen mediante IoT, IA y Big Data, mejorando la eficiencia y sostenibilidad, especialmente en la producción de vehículos eléctricos como el EQS. Ford optimiza la fabricación de baterías y sistemas eléctricos para modelos como el Mustang Mach-E y la F-150 Lightning, asegurando calidad y eficiencia [132].



Figura VI-1: Ingenieros de BMW testeando su gemelo digital en Regensburg (Alemania).

Por su parte, la marca *Tesla* ha desarrollado un gemelo digital que replica virtualmente cada vehículo en tiempo real, permitiendo la monitorización del rendimiento, mantenimiento predictivo y actualización remota del software. Convirtiendo esta tecnología en la clave de la evolución de su sistema de conducción autónoma, que optimiza el desempeño de Autopilot mediante simulaciones avanzadas [133,134].

Siemens ha implementado un gemelo digital en su fábrica de Amberg en Alemania, optimizando la producción de sistemas de control industrial [135] mediante automatización avanzada, lo que

mejora la eficiencia y reduce costos. *General Electric* aplica esta tecnología en múltiples sectores, desde manufactura hasta energía y salud. En energía renovable, los gemelos digitales permiten la monitorización del rendimiento de turbinas eólicas, analizando datos en tiempo real para prever fallos y mejorar la eficiencia operativa. *Unilever* ha integrado un gemelo digital en su producción y cadena de suministro, destacando su aplicación en la planta de Hamburgo. Esta implementación ha mejorado la eficiencia operativa, reducido costos y fomentado la sostenibilidad mediante el perfeccionamiento energético y reducción de residuos [136,137].

En el ámbito de la gestión urbanística, los gemelos digitales se aplican en la simulación de infraestructuras urbanas para monitorizar y mejorar la movilidad, el tráfico y la eficiencia energética, contribuyendo al desarrollo de ciudades sostenibles [138]. La ciudad de Singapur ha desarrollado un gemelo digital como parte de su estrategia Smart Nation (SN), utilizando tecnologías avanzadas para mejorar en estas cuestiones y aumentar con ello la calidad de vida. [139]

En Dubai, a través de su iniciativa Smart Dubai, ha implementado un gemelo digital basado en IoT, big data e AI, permitiendo la simulación y optimización de infraestructuras, alcanzando las mismas ventajas que ofrece la anterior estrategia SN. Shenzhen ha desarrollado una réplica virtual detallada de la ciudad, integrando datos en tiempo real mediante sensores IoT y sistemas de monitoreo para mejorar la gestión de tráfico, energía, servicios públicos y seguridad, consolidándose como un referente en ciudades inteligentes [140].

El metaverso ha transformado la organización de eventos, destacando su impacto en museos y galerías de arte. *Sotheby's Virtual Gallery* es una plataforma digital que emplea tecnología avanzada para la exhibición y comercialización de arte, antigüedades y coleccionables en un entorno virtual inmersivo. Esta galería utiliza renderizados 3D de alta resolución para representar obras con gran precisión, permitiendo a los usuarios explorar piezas en modo tridimensional y, en algunos casos, mediante VR. Su catálogo incluye obras de arte moderno y contemporáneo, obras de maestros de la antigüedad, NFT, joyería y otros objetos históricos, accesibles globalmente a través de internet. Los usuarios pueden interactuar con las obras, obtener información detallada y participar en las adquisiciones de manera directa o en subastas en línea. Sotheby's también organiza exposiciones temporales y eventos exclusivos, consolidando su papel en la digitalización del mercado del arte y democratizando su acceso a través de la tecnología. Una de las ferias de arte contemporáneo más prestigiosas de América es Art Basel Miami Beach, recientemente ha incorporado ediciones virtuales para responder a los desafíos globales recientes. Ya en 2020, lanzó las Online Viewing Rooms, permitiendo la exhibición digital de obras, con la participación de 282 galerías de 35 países y más de 230,000 visitantes. Posteriormente, en diciembre, presentó OVR: Miami Beach, con 255 galerías de 30 países y cerca de 2,500 obras de arte, integrando nuevas funcionalidades como videos interactivos y herramientas de exploración digital. Estas iniciativas consolidaron un modelo híbrido de difusión y comercio de arte, que complementa las ferias presenciales con plataformas digitales [141,142].

En el ámbito musical, el metaverso ha revolucionado la experiencia de los conciertos mediante eventos interactivos en videojuegos [143,144]. Los Fortnite Concert Series han redefinido la conexión entre artistas y audiencias mediante espectáculos inmersivos y entornos virtuales dinámicos. El primer gran evento, con Marshmello en 2019, reunió a más de 10 millones de jugadores, le sigue en el ranking, Travis Scott (2020) con 27 millones de asistentes y Ariana Grande (2021) con escenarios interactivos. Otros artistas como J Balvin, Eminem y The Kid Laroï han participado y con ello han consolidado este formato. Asimismo, los Roblox Virtual Concerts han expandido la industria musical en entornos digitales, ofreciendo experiencias interactivas con misiones y objetos coleccionables dentro del juego. Quien inició esta tendencia en 2020, fue Lil Nas X (Ver Figura VI-2) con 33 millones de visitas, seguido por Twenty One Pilots, Zara Larsson

y KSI en 2021. Pocos años después, David Guetta, The Chainsmokers y Charli XCX consolidan sus conciertos como una nueva forma de expresión artística y de interacción masiva en espacios virtuales [145,146].



Figura VI-2: Cartel anunciador del concierto de Lil Nas X en Roblox.

Los Sandbox Game Jam son eventos de desarrollo de videojuegos en los que programadores, diseñadores y creativos colaboran para idear juegos en un intervalo de tiempo limitado (48-72 horas) dentro de plataformas de desarrollo abierto como Roblox, Minecraft, The Sandbox y Garry's Mod. Su objetivo es fomentar la creatividad, la experimentación y la innovación en el diseño de videojuegos, permitiendo a los participantes explorar nuevas mecánicas y conceptos más creativos y sin restricciones. Estos eventos suelen incluir temáticas específicas y fomentan el trabajo en equipo interdisciplinario. Un ejemplo reciente es el Discovery Game Jam, anunciado por The Sandbox el 14 de marzo de 2025 en su programa GMAE Show, con el propósito de continuar impulsando la creatividad en el ecosistema del Metaverso [147]. La Metaverse Summit es una conferencia internacional que reúne expertos, empresas y desarrolladores para analizar el futuro del MV. Aborda temas clave como VR, AR, blockchain, NFT e AI, explorando tendencias y oportunidades tecnológicas. Se ha llevado a cabo en ciudades como París y Nueva York, atrayendo a miles de participantes y consolidándose como un evento esencial para la industria digital [148,149].

En el ámbito de los activos digitales, la NFT.NYC es una conferencia anual destacada en el sector de los tokens no fungibles (NFT), que reúne a artistas, coleccionistas y líderes de la industria para discutir avances en arte digital, blockchain y aplicaciones comerciales. La edición de NFT.NYC 2025 se celebrará del 25 al 27 de junio en Times Square, Nueva York, abordando temas como arte, AI, videojuegos, aspectos legales y comunidad digital. Algunas ediciones anteriores han contado con la participación de figuras influyentes de empresas como T-Mobile, Mastercard y Lacoste, demostrando el impacto creciente de los NFT en diversas industrias [150].

Una de las más dinámicas plataforma de interacción social virtual que organiza festivales y eventos para mejorar la experiencia de sus usuarios es Zepeto World Festival. Entre los eventos destacados se encuentran el Zepetomoji Festival, realizado en Zepeto University, y el Zepeto School Festival 2024, que incluyó concursos, desafíos, regalos de artículos de avatar y transmisiones en vivo con influencers. Estos festivales reflejan el compromiso de Zepeto con la

creación de experiencias inmersivas para su comunidad global [151]. New Horizons, lanzado en 2020 por Animal Crossing, se comienza a considerar un metaverso debido a su mundo virtual compartido y capacidad de interacción social. Esto se debe a que, durante la pandemia, permitió a los jugadores crear islas personalizadas, promoviendo la conexión social. No se trata de un metaverso completo, aunque comparte ciertas características, debido a la falta de integración con múltiples plataformas y experiencias digitales [152,153]. En Highrise: Virtual Metaverse, los eventos son fundamentales para la experiencia de los usuarios, quienes pueden participar en actividades como concursos de moda, debates, noches de karaoke y competiciones en espacios laberínticos. Estos eventos, organizados tanto por los desarrolladores como por los propios usuarios, estimulan una interacción social rica y creativa dentro de la plataforma [154,155].

Meta ha promovido los eventos virtuales a través de Horizon World Events, una plataforma de VR donde los usuarios exploran, interactúan y crean, en un entorno compartido. Entre los eventos destacados se incluyen maratones educativos, conciertos inmersivos (como los de Sabrina Carpenter y The Kid LAROI), y experiencias temáticas como "Océano de Luz 3D - Delfines en VR" y "Exploradoras del Espacio". Además, Horizon Worlds ha integrado "Venues", un espacio dedicado a transmitir eventos en vivo como conciertos y deportes, ampliando las opciones de entretenimiento [156,157]. BKOOL, un simulador de ciclismo virtual, ofrece experiencias de entrenamiento inmersivas y ha sido sede de eventos destacados como la competición entre ciclistas profesionales Chris Froome y Alberto Contador, durante el Giro de Italia Virtual 2024 [158,159]. El Netaverso de los Brooklyn Nets, lanzado en 2022, utiliza tecnologías de gemelo digital y realidad virtual para las experiencias inmersivas durante los partidos de la NBA, permitiendo a los fans experimentar los juegos desde nuevas perspectivas y acceder a las estadísticas en tiempo real [160,161].

La Fórmula 1 experimentada en el metaverso ha explorado con diversas opciones, integrando NFTs, experiencias inmersivas, simulaciones virtuales y videojuegos. Entre los eventos más relevantes se incluyen el F1 Delta Time (2019-2022), el Gran Premio Virtual de F1 (2020), la colaboración con Roblox en F1® Arcade y Virtual Paddock, y el Gran Premio de Mónaco en el metaverso (2023). Estos eventos reflejan la incorporación de la F1 al mundo digital y su compromiso con la innovación en el ámbito virtual. Los AIXR XR Awards, conocidos anteriormente como Virtual Reality Awards, celebran los logros más importantes en el ámbito de la realidad extendida, que abarca la VR, la AR y la MR. Estos premios anuales reconocen innovaciones tecnológicas, experiencias inmersivas y aplicaciones que transforman la interacción humana con la tecnología.

Por otro lado, Microsoft ha desarrollado Microsoft Mesh, una plataforma de colaboración en MR que permite la interacción en entornos digitales mediante avatares o hologramas. Funciona en dispositivos como HoloLens 2 y smartphones, facilitando reuniones inmersivas, diseño colaborativo, entrenamientos técnicos, además de la creación de eventos virtuales. Basada en Microsoft Azure, Mesh utiliza AI y computación espacial para crear experiencias realistas y seguras, posicionándose como una herramienta clave para la colaboración en el metaverso y su integración futura con servicios como Microsoft Teams [162].

Estas plataformas reflejan la creciente diversificación de experiencias inmersivas en el metaverso, ofreciendo a los usuarios interacción, entretenimiento y aprendizaje en entornos virtuales avanzados [163,164].

A lo largo de este artículo, se analizarán estudios de caso que ilustran el uso innovador de estas tecnologías y explorando cómo empresas líderes y organismos gubernamentales han adoptado estas estrategias para maximizar su potencial. Puesto que, desde una perspectiva socioeconómica, estas tecnologías presentan una serie de desafíos y oportunidades. A la vez que

el metaverso y los eventos virtuales democratizan el acceso a experiencias digitales, también plantean interrogantes sobre la seguridad, la privacidad de los datos y su impacto en el empleo. La creación de economías digitales dentro del metaverso podría redefinir los modelos de negocio e innovar en nuevas formas de monetización, aunque también conlleva riesgos asociados a la regulación y la sostenibilidad económica.

Este estudio se centra en Alcoy, una ciudad industrial con una tradición textil que comenzó en el siglo XIX, impulsada por energía hidráulica. La modernización de la ciudad se aceleró con la llegada del vapor, creando un fuerte tejido económico y social. En 1828, se fundaron los primeros estudios industriales derivados de la Real Fábrica de Paños, y a mediados del siglo XIX, se estableció la Escuela Industrial Elemental, financiada por fondos públicos y privados. En 1869, se otorgó el primer título de perito químico, y en 1873, el de perito mecánico. A principios del siglo XX, se fundó la Escuela Superior de Industria, ofreciendo especialidades en varias ramas industriales. En 1972, la Escuela se integró como campus de la Universitat Politècnica de València (UPV), ampliando su oferta educativa, que actualmente incluye siete grados: Diseño Industrial, Informática, Administración de Empresas, Electricidad, Química, Mecánica y Robótica.

Para conmemorar el 50 aniversario de la integración de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial en la UPV, se ha realizado una labor integral de diseño. Para este experimento, en primer lugar, se ha diseñado un gemelo digital del campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València (UPV). A continuación, y a partir de varias fotografías se han modelado en 3D los edificios de Ferrándiz y Carbonell que integran la parte central del campus, mediante 3dsmax 2025. A continuación, se ha creado una imagen de marca diseñando el logotipo. Se han modelado en 3D, una serie de lonas con la imagen conmemorativa, que se despliegan por las fachadas de los edificios de Ferrándiz y Carbonell, a modo de escenario, como todavía están instaladas en el espacio urbano. Con el motor de juegos Unity, se han configurado las interacciones del usuario con el escenario: la activación de animaciones, los vídeos, entre otros, y se han implementado en la plantilla del mismo programa del portal web Spatial.io, para poder implementar el gemelo digital en el metaverso. Spatial es una aplicación gratuita que aporta su interfaz de socialización, donde podemos configurar nuestro avatar y hablar por chat o con voz a otros usuarios.

En conclusión, la convergencia de la realidad virtual, el metaverso, los gemelos digitales y la creación de eventos virtuales está provocando cambio de paradigma, especialmente en la manera en que interactuamos con el mundo digital. Su impacto continuará expandiéndose en los próximos años, dando lugar a nuevas oportunidades para la innovación y la conectividad global.

Este artículo se estructura de la siguiente forma: en primer lugar, el gemelo digital propuesto se desarrolla en la Sección 6.2. Seguidamente, la sección 6.3 proporciona información sobre la usabilidad de la interfaz y aspectos de Unity y Spatial. Todo lo anterior, para concluir con una discusión y comentarios presentados en las Secciones 6.4 y 6.5.

6.2. Materiales y métodos.

6.2.1. Metodología de diseño de gemelos digitales en el metaverso para eventos.

La metodología empleada para crear el gemelo digital de este evento virtual, se ilustra en la Figura VI-3. En el esquema, se detallan como primer paso, la interpretación de los planos de cad y la toma de fotografías de las fachadas y de los elementos decorativos.

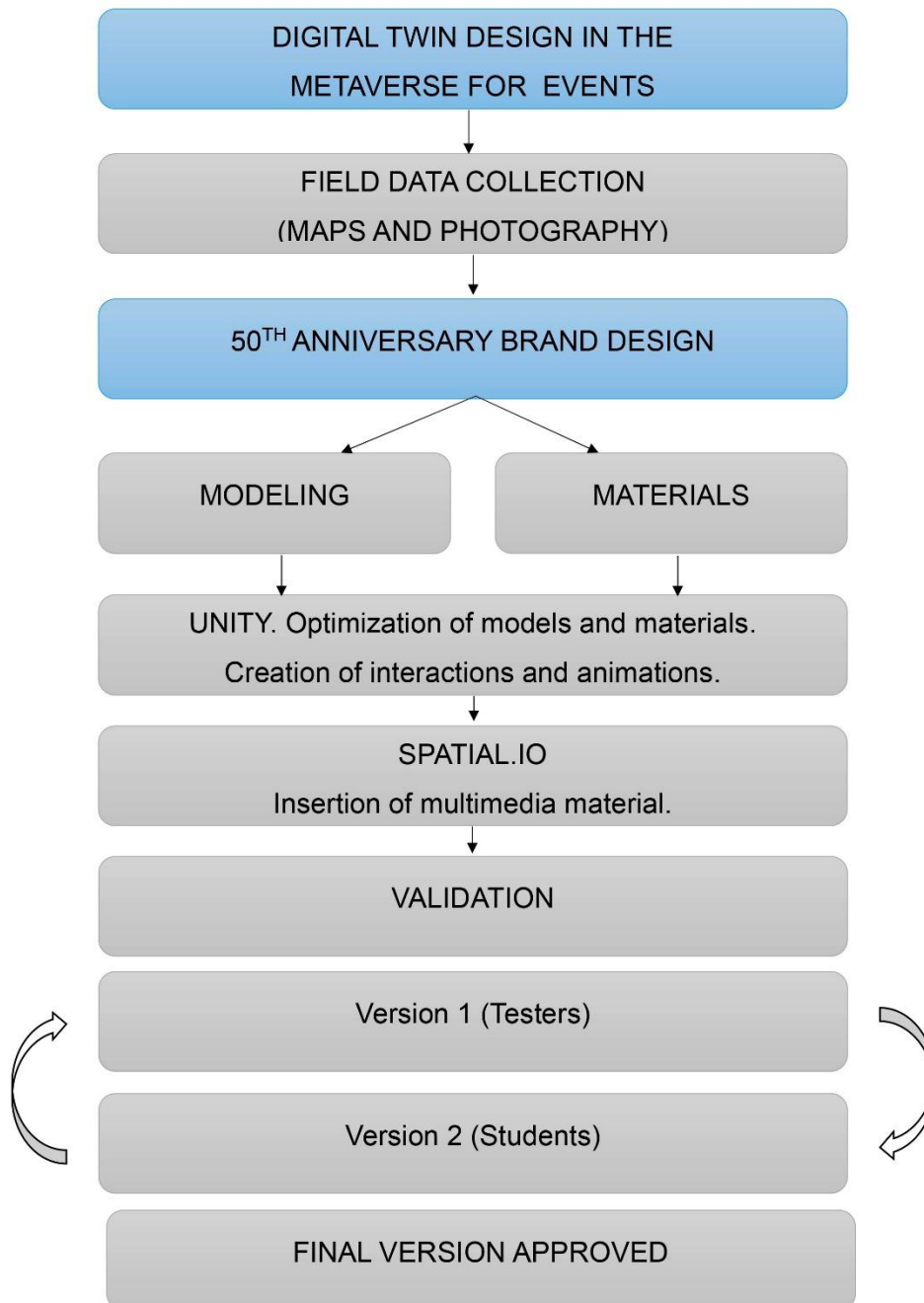


Figura VI-3: Detalle de la metodología empleada para crear el gemelo digital del Campus de Alcoy.

El servicio de mantenimiento del Campus proporcionó unos planos que solamente aportaban información de las dimensiones de las plantas. Al parecer, no existen planos del alzado de las fachadas de los edificios de Ferrándiz y Carbonell, por lo que tuvimos que tomar como referencia las fotografías realizadas con anterioridad. Para ello, se recogieron unas 300 fotografías para definir todos los detalles importantes de los edificios, así como la vegetación, las imágenes de fondo, y todas las texturas. El siguiente paso fue definir la imagen de marca para el evento del 50 aniversario de la unión entre la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial y la Universitat Politècnica de València (UPV). Una vez definido el logotipo, se diseñó la cartelería y se editó un vídeo conmemorativo donde se configuró un morphing en 3d animado, donde se representó la transformación entre el logotipo de la UPV y el propuesto para el 50 aniversario. Todo este proceso se detalla en el punto 2.2. Estudio del diseño gráfico del evento. Una vez definida la imagen de marca, se accede a la fase de modelado en 3d, con 3dstudio Max 2025, de los edificios de Ferrándiz y Carbonell. Se importaron los planos, y a partir de sus medidas en planta se extruyó su altura. Fue necesario confeccionar fotomontajes de las fachadas con Adobe Photoshop Versión 25, para poder definir los detalles en altura de los edificios (ubicación de relieves, ventanas, puertas, etc....). Posteriormente se modelaron, a escala real, los elementos auxiliares como los bancos, papeleras y los árboles, todo ello a partir de las fotografías de campo. He quitado la frase. Una vez terminado el modelado, se trataron las imágenes para obtener todas las texturas. Esta cuestión, se expone con detalle en el punto 2.3. Modelado 3d y texturizado del gemelo digital.

Para la implementación del gemelo digital en el metaverso, utilizamos la herramienta gratuita Spatial.io, recordemos que es una plataforma de VR y AR que permite a los usuarios crear y explorar espacios virtuales en 3D. Se usa principalmente para la colaboración remota, el diseño de experiencias inmersivas y también para exhibiciones en el metaverso. Esta plataforma dispone de plantillas para la implementación del contenido 3d y de las animaciones, bajo la herramienta para videojuegos Unity. De esta manera, el siguiente paso fue exportar el modelo 3d a Unity. Dentro de Unity, luego se optimizaron los modelos 3d y las texturas, para que la navegabilidad del futuro usuario fuera fluida y se definieron las animaciones e interacciones del escenario. Todo esto se explica con detalle en el punto 2.4 Optimización de modelos y materiales con Unity. Creación de interacciones y animaciones.

A continuación, se exportó la plantilla de Unity a Spatial.io, donde se definió todo el material multimedia: vídeos y links externos. Para ver más en detalle este proceso, revisar el punto 2.5. SPATIAL.IO. Inserción del material multimedia. Una vez definido nuestro gemelo digital en la plataforma de Spatial, es cuando se sometió a validación dentro del campus. En una primera fase, la versión 1 fue valorada por al departamento de Expresión Gráfica (Testers). Sus indicaciones de mejora se recogieron en la versión 2, que fue presentada a 265 estudiantes del Grado en Diseño Industrial matriculados en las asignaturas de Diseño Asistido por Ordenador, Técnicas de Presentación y Simulación. Los alumnos testearon por parejas el escenario virtual mediante un test de valoración. Finalmente, con estos datos registrados se mejoró la versión final del evento virtual, que acabó presentándose en la gala del 50 aniversario de la incorporación de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial dentro de la Universitat Politècnica de València, celebrada el 7 de abril de 2022. Una vez habilitado un espacio con 4 gafas Meta Quest 3, los asistentes a la gala pudieron probar el gemelo digital y la personalización del evento. A esto se añadió la presentación de un video documental acerca de la fundación de la Escuela Industrial y la animación 3d del morphing entre el logotipo actual de la UPV y el nuevo diseñado para el evento conmemorativo.

En los siguientes apartados, se describe de manera más concreta cada una de estas fases, que ayudarán a comprender mejor el proceso de creación del gemelo digital de los Edificios de Ferrándiz y Carbonell del campus de Alcoy para la celebración del 50 aniversario del Campus de Alcoy en la UPV (Ver Figura VI-4).



Figura VI-4: Detalle del evento de celebración del 50 aniversario de la incorporación de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Alcoy a la Universitat Politècnica de València.

6.2.2. Modelado, texturización y animación del gemelo digital.

Como se ha indicado, este proyecto se realiza para celebrar dos actos conmemorativos que se inscriben en la historia reciente del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València. El primer acto corresponde al 2022, en el que se cumplen 50 años desde la integración en la Universitat Politècnica de València, como Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica (Decreto 1377/ 1972, de 10 de mayo; BOE, 7 de junio de 1972), y el segundo acto conmemora los 100 años de la colocación de la primera piedra del Edificio Viaducto en el siglo pasado. La dirección del centro educativo propuso el encargo artístico a Silvia Sempere Ripoll para la dirección artística del evento que implicó la creación del logotipo conmemorativo y de todos aquellos elementos gráficos correspondientes, que configuraron la imagen gráfica del evento Campus d'Alcoi 1972 /2022 UPV. Ver Figura VI-5



Figura VI-5: Diseño de logotipo: versión en b/n: negativo, positivo. Versión a color.

A continuación, se visualiza la secuencia evolutiva de la elaboración del diseño gráfico del logo conmemorativo, que se inició tomando como punto de partida el escudo original de la Universitat Politècnica de València con la emblemática leyenda EXTECHNICA PROGRESSIO. Para ello, se fueron eliminando todos los elementos compositivos de contorno, círculos, tipografías. Se reserva la corona y la cuatribarrada. Con las cuatro franjas paralelas verticales de la cuatribarrada se propone un juego de superposición formal al que se le aplica un ejercicio de sustracción selectiva, quedando integrada con el número 50, los años equivalentes a la conmemoración celebrada. Ver Figura VI-6.

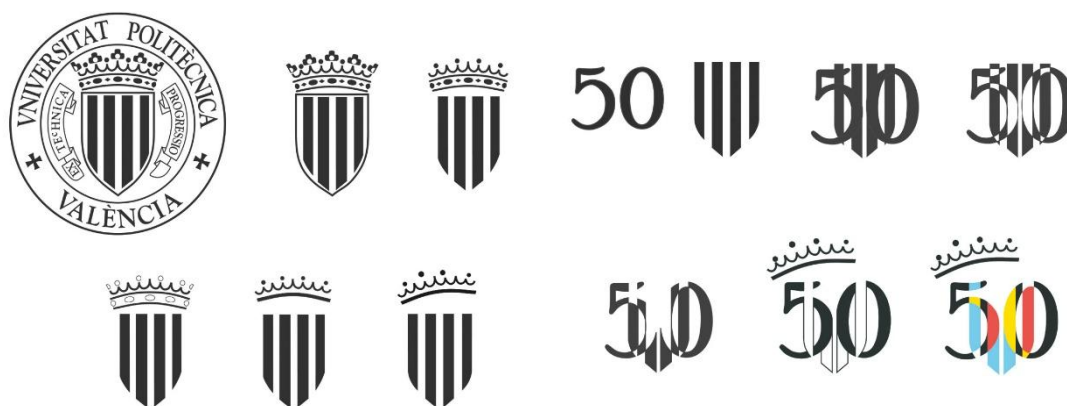


Figura VI-6: Secuencia de la transformación del logotipo a partir del escudo de la UPV.

Para la corona, se realiza una simplificación de los elementos que la componen y se reinterpreta el diseño de la forma. En primer lugar, se elimina su simetría con el fin de proporcionarle un aspecto más dinámico, en segundo lugar, se animan las cuatro pequeñas esferas que rematan la corona. El movimiento de la animación se diseña para que cada esfera se mueva a un ritmo diferente -imita el rebote de unas pequeñas pelotitas-. Todo ello, sin perder la esencia del elemento central identificativo del escudo oficial de la entidad educativa. Para la puesta en escena, se realizaron varias intervenciones urbanas en espacio público. Una de ellas recurrió a la instalación de estructuras rígidas que sirvieran de soporte para la colocación de 9 lonas impresas a color digitalmente sobre PVC. Como se puede observar la gama cromática del logo respeta los colores corporativos oficiales: azul, rojo, amarillo y negro. Ver Figura VI-7.



Figura VI-7: Instalación de estructuras mediante plataformas elevadoras. Plaza del Campus de Alcoi de la Universitat Politècnica de València.

Estos elementos gráficos de gran formato se instalaron sobre las fachadas de los edificios Ferrándiz, Carbonell y Edificio Viaducto, que forman parte del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València. Ver Figura VI-8.

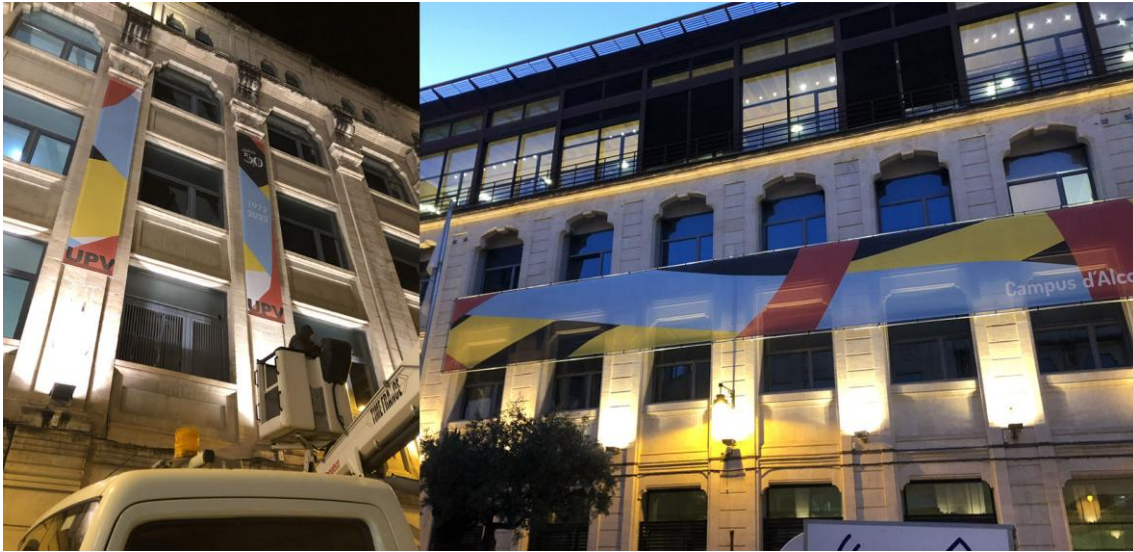


Figura VI-8: Iluminación de elementos gráficos. Plaza del Campus de Alcoy de la Universitat Politècnica de València.

6.2.3. Modelado, texturización y animación del rediseño.

El proceso del modelado del gemelo digital se inicia con la petición al servicio de mantenimiento del campus de Alcoy de los planos del edificio. Nos informaron de que sólo disponían de planos de la planta del edificio y no de los alzados de las fachadas. De este modo, se tuvo que importar los planos de CAD al programa 3dsmax para insertar el fotomontaje de cada una de las fachadas y poder obtener las verdaderas dimensiones del edificio. Algunas de las medidas reales de la planta baja nos permitieron extraer las medidas reales de las fachadas. Ver Figura VI-9.

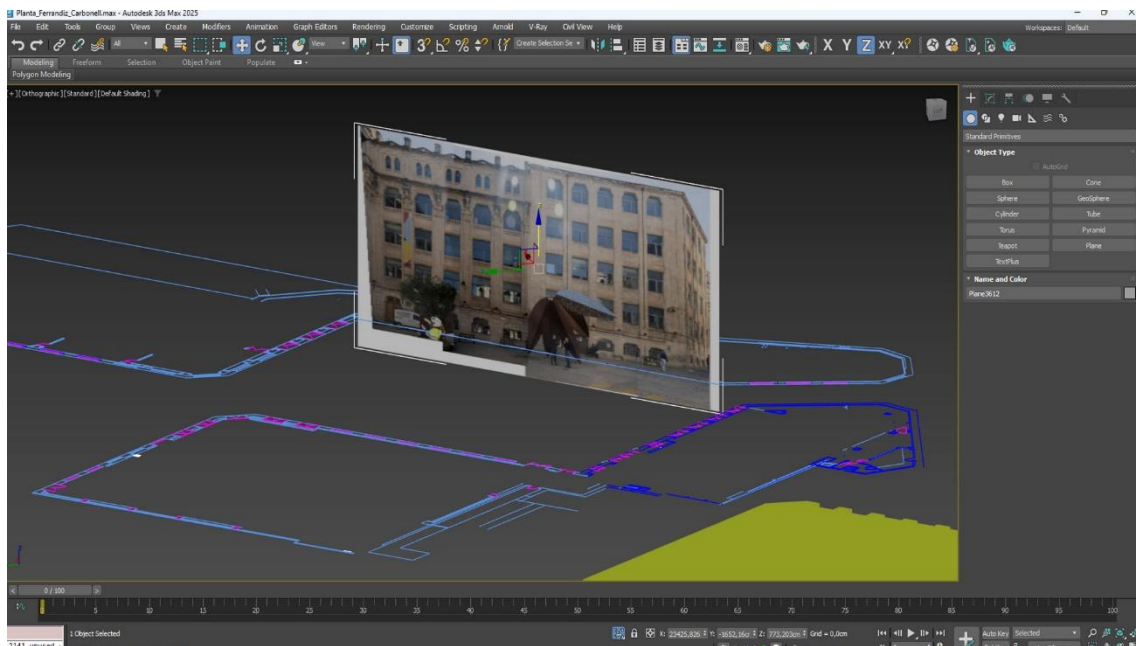


Figura VI-9: Detalle de la integración del fotomontaje de la fachada, con los planos de planta del cad.

A partir de este punto, se utilizaron cerca de 300 fotografías para definir los detalles de las fachadas, ventanas, relieves, rejillas, etc....esto nos permitió definir los volúmenes de las fachadas de los edificios de Ferrándiz y Carbonell, mediante instrucciones de modelado 3d de extrusión, barridos y operaciones booleanas. Ver Figura VI-10.

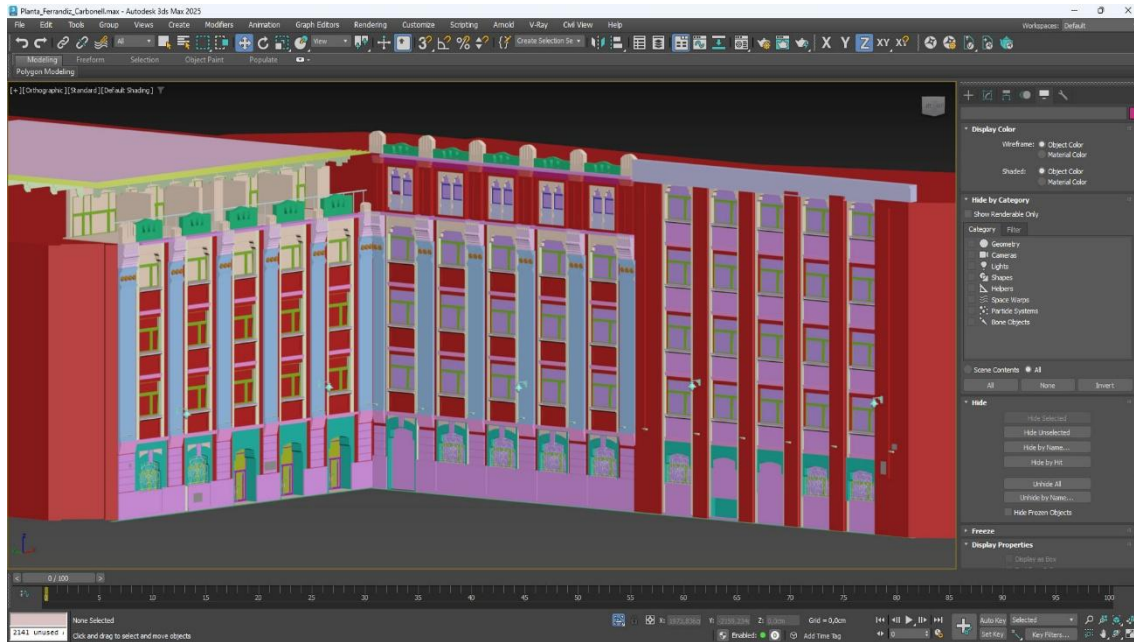


Figura VI-10: Resultado del modelado 3d del edificio de Ferrándiz.

Definidos los volúmenes de las fachadas, se tuvo que trabajar de nuevo sobre las fotografías tomadas para construir los objetos de decoración existentes: bancos, papeleras, jardineras, escultura, etc....como en el caso anterior, nos ayudamos de la toma de medidas, sobre aquellos elementos a los que podíamos acceder. Ver Figuras VI-11 y VI-12.

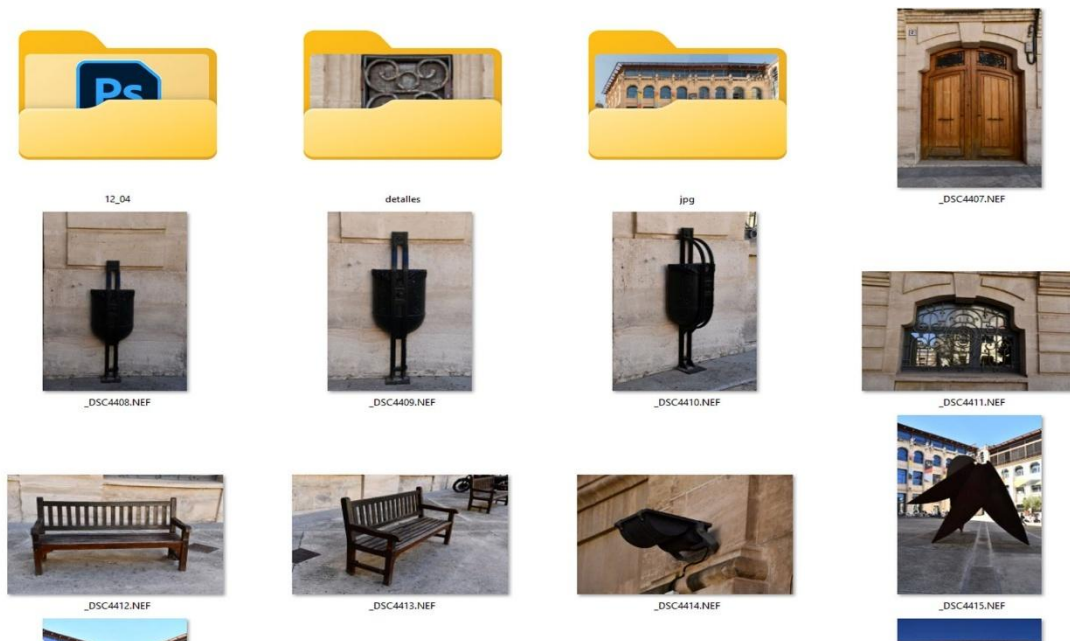


Figura VI-11: Ejemplos de las fotografías tomadas a los elementos decorativos de la plaza.

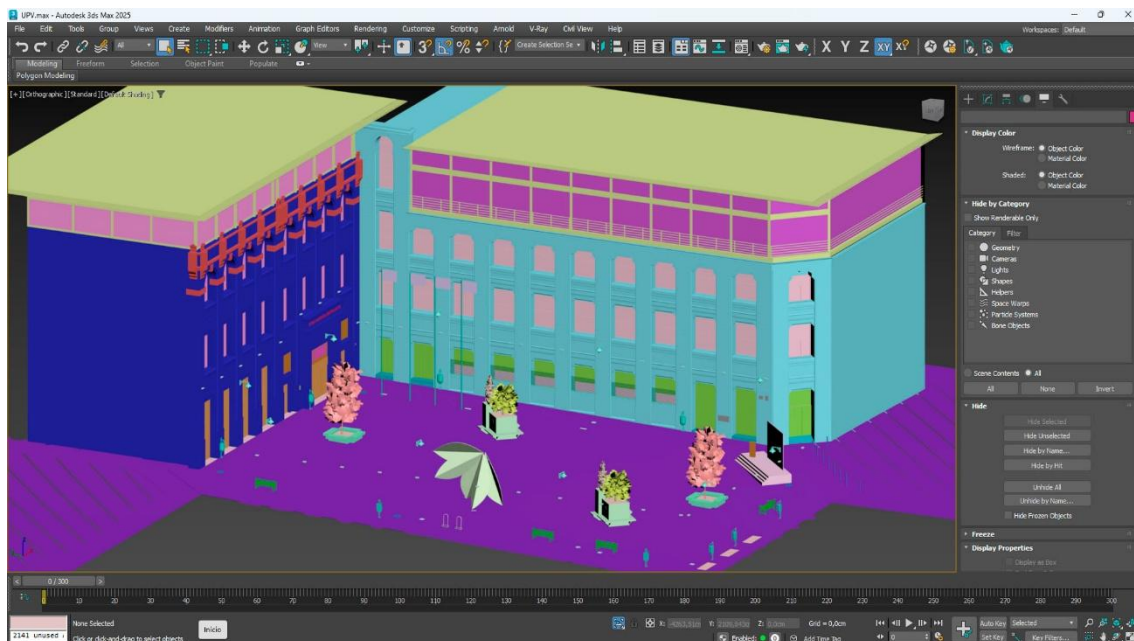


Figura VI-12: Resultado del modelado del Edificio de Carbonell, junto con los elementos decorativos.

El modelado del gemelo digital se completó con los postes de las banderas, los espacios para las lonas conmemorativas y un par de atriles de conferencia con una pantalla trasera para mostrar vídeos corporativos del evento del 50 aniversario y del campus de Alcoy. Para darle un mayor realismo, se añadió una bandada de palomas y un zeppelin identificado con el logotipo del 50 aniversario haciendo un guiño a la serie japonesa “Alice in borderlands”.

Terminado el modelado, se empezó el texturizado, recortando las imágenes de carteles, alcantarillas, puertas, etc....sobre las fotografías tomadas. En este caso, se tuvo que trabajar desde Adobe Photoshop versión 25, para recortar la parte de cada textura. Se tuvieron que trabajar los canales Alpha para aquellas texturas con partes transparentes como fondos o rejas.

Del mismo modo, se tuvieron que generar los mapas de normales, para añadir más realismo en aquellas texturas con rugosidad, como por ejemplo el pavimento de la plaza. Ver Figura VI-13.



Figura VI-13: Detalle de las imágenes recortadas para poder texturizar los modelos 3D.

Para texturizar los modelos 3d, se utilizó el tipo de material Standard (Legacy) para ubicar los mapas de Diffuse, Opacity y Bump (Normal). En aquellos modelos 3d con distintas texturas, se utilizó el tipo de material Multi/Sub-Object para identificar mediante ID, las partes del modelo y su textura correspondiente. Ver Figura VI-14.

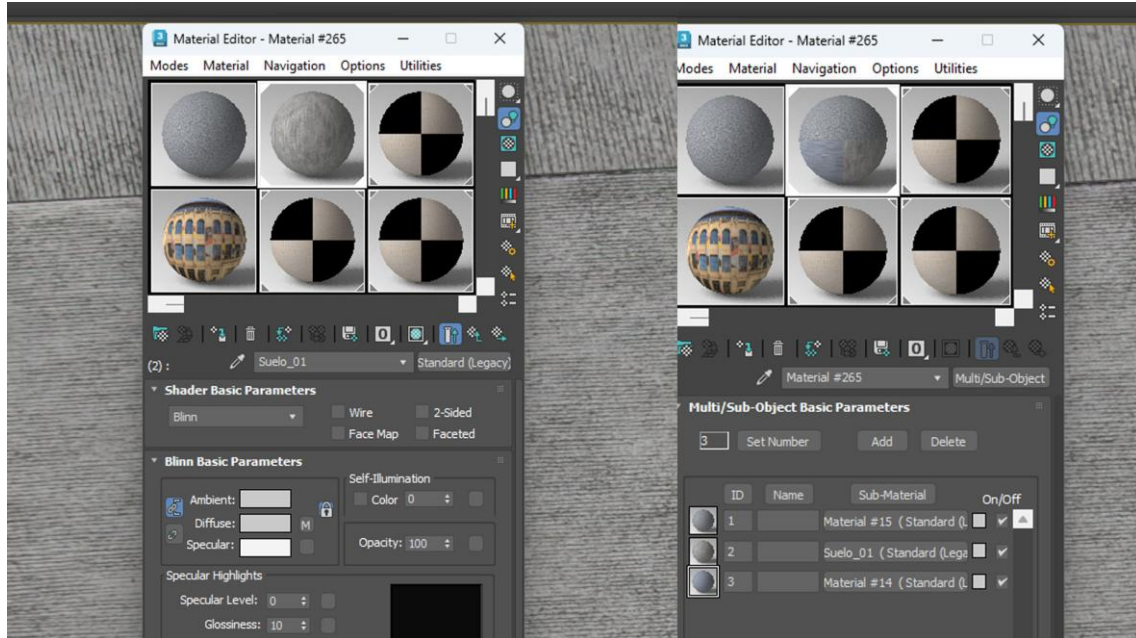


Figura VI-14: Esquema de mapas y materiales utilizados: Standard (Legacy) y Multi/Sub-Object.

Los árboles (dos olmos y dos olivos) se importaron de bibliotecas de modelos 3d y ya tenían incorporados los mapas de opacidad, para definir sus hojas. Para terminar el texturizado, se crearon 2 planos en ambas entradas a la plaza con fotografías aplicadas de la parte del edificio IVAM CADA_ALCOY y el colegio de los Salesianos, colindantes a los edificios de Ferrándiz y Carbonell. Estos planos delimitaran el área visitable del espacio inmersivo. Ver Figura VI-15.

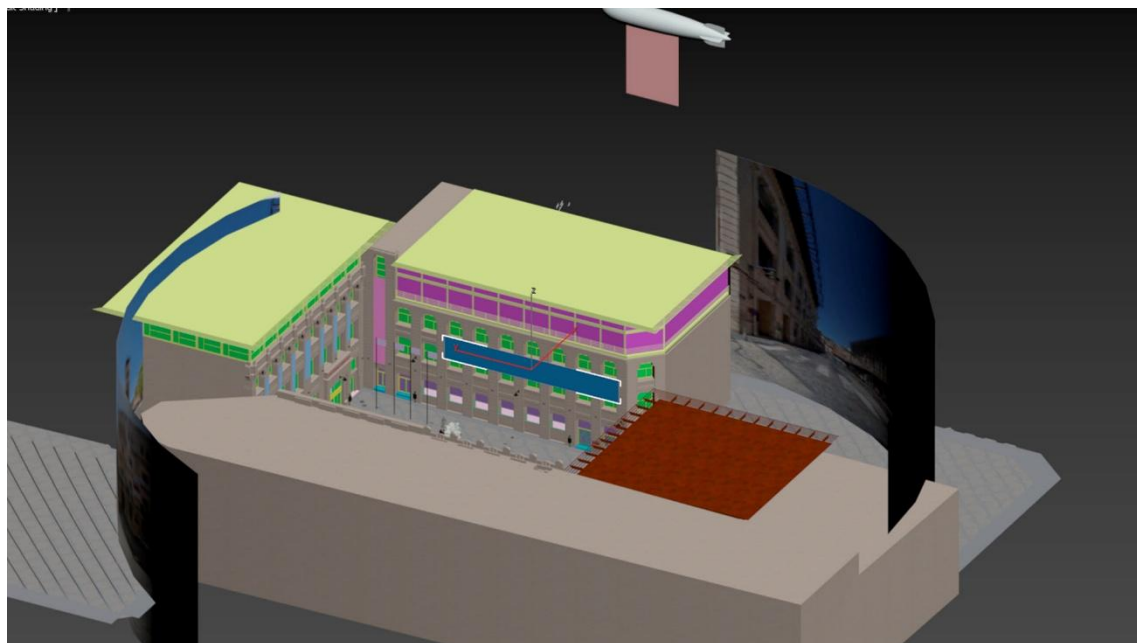


Figura Vi-15: Vista final del modelado de parte del conjunto arquitectónico del campus de Alcoy. Se pueden distinguir los dos planos delimitadores, el zeppelin y los espacios para las lonas con la imagen gráfica del 50 aniversario.

Se ha previsto animar la aparición de las lonas con la imagen gráfica del evento, por lo que se han modelado en 3dsmax, pero se texturizarán en Unity.

6.2.4. Optimización de modelos y materiales con Unity. Creación de interacciones y animaciones.

Unity es un motor de renderizado en tiempo real ampliamente utilizado en la industria del desarrollo de software interactivo, destacándose por su versatilidad y capacidad para la generación de entornos tridimensionales altamente inmersivos. Su relevancia en la construcción de aplicaciones orientadas al metaverso radica en su arquitectura optimizada para la creación y gestión de espacios virtuales interactivos, permitiendo la implementación de experiencias envolventes en múltiples plataformas. La tecnología de Unity posibilita el desarrollo de mundos virtuales dinámicos, lo que lo posiciona como una herramienta esencial en la producción de contenido para videojuegos, VR, AR y MR, disciplinas fundamentales en la configuración del metaverso. Asimismo, su motor gráfico y sus sistemas de scripting avanzados permiten la personalización de experiencias digitales con alto grado de interacción y adaptabilidad a diversos dispositivos y entornos computacionales.

En el contexto del desarrollo de experiencias inmersivas y entornos tridimensionales, Unity mantiene una relación estrecha con Spatial.io, aunque ambas plataformas desempeñan funciones diferenciadas dentro del ecosistema de generación de contenido digital. Spatial.io emplea Unity como infraestructura tecnológica para la construcción de sus entornos virtuales, aprovechando su capacidad para el renderizado en tiempo real y la simulación de interacciones complejas. Gracias a esta integración, los entornos generados en Spatial.io presentan un alto grado de realismo visual y una capacidad de interacción optimizada para aplicaciones sociales, colaborativas y comerciales dentro del metaverso. Mientras Unity provee la base computacional para la generación y manipulación de estos entornos tridimensionales, Spatial.io facilita su accesibilidad y uso dentro de un contexto de interacción multiusuario.

En la implementación del gemelo digital de la plataforma, se ha empleado la versión 2021.3.21f1 de Unity. Para la correcta configuración del entorno, es necesario importar el paquete "UI_Menu_Spatial" dentro del proyecto. Esta importación proporciona una serie de activos preconfigurados que pueden emplearse como referencia en la construcción del entorno virtual. Se recomienda abrir el nivel correspondiente y trasladar todos los elementos de la jerarquía al proyecto de desarrollo, con el objetivo de utilizarlos como plantilla estructural para la implementación del diseño final. Por este motivo, la integración de Spatial en Unity, se ha elegido este motor de videojuegos, sobre otros conocidos como Unreal o Nvidia Omniverse.

Para este escenario, se ha utilizado un componente desarrollado por Spatial para mejorar la interactividad el usuario con el espacio. Se trata del componente Quest, que nos permite crear un sistema de misiones, con tantos objetivos como queramos. En nuestro caso, se ha utilizado el sistema de misiones para provocar la llamada a la acción del usuario y favorecer la completa exploración del escenario. Ver Figura VI-16.

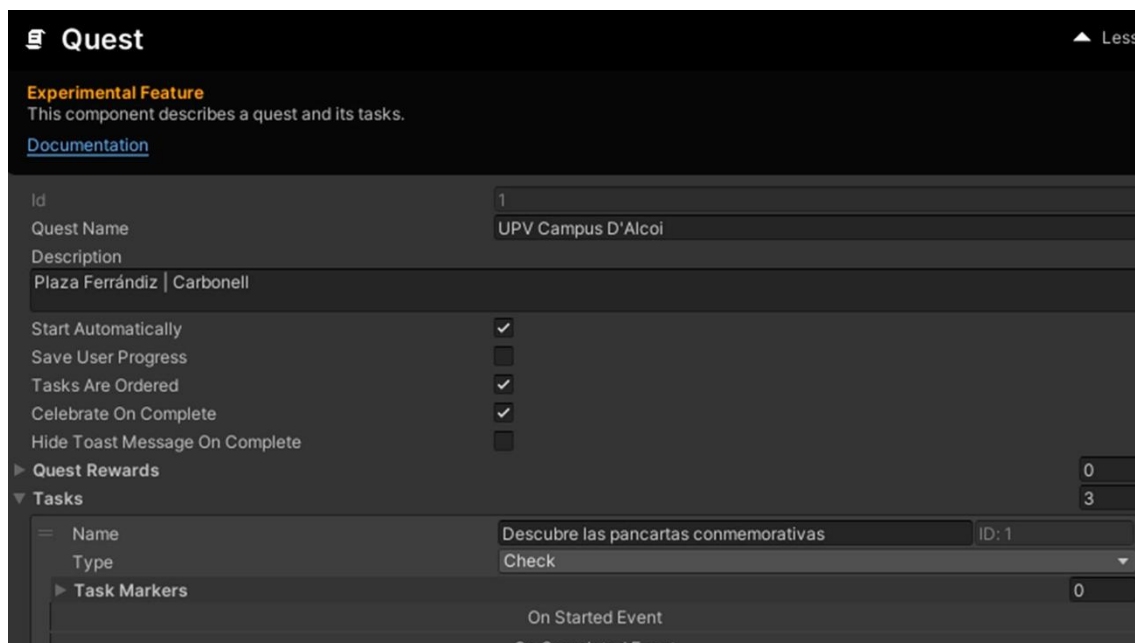


Figura VI16: Detalle del componente Quest. Se ha configurado para que se inicien las misiones automáticamente al entrar el usuario en el escenario, para que se reproduzcan en el orden correcto y se ha establecido una celebración al completar las misiones (Celebrate On Complete).

Misión 1

El usuario debe atravesar el cilindro iluminado para descubrir las pancartas conmemorativas del evento del 50 aniversario. Para ello debe activar el elemento por colisión (trigger) definido en el escenario. Al colisionar, activará la animación de las pancartas e indicará al sistema de misiones que el objetivo ha sido completado, de forma que se desbloquee la siguiente misión. Ver Figura VI- 17.

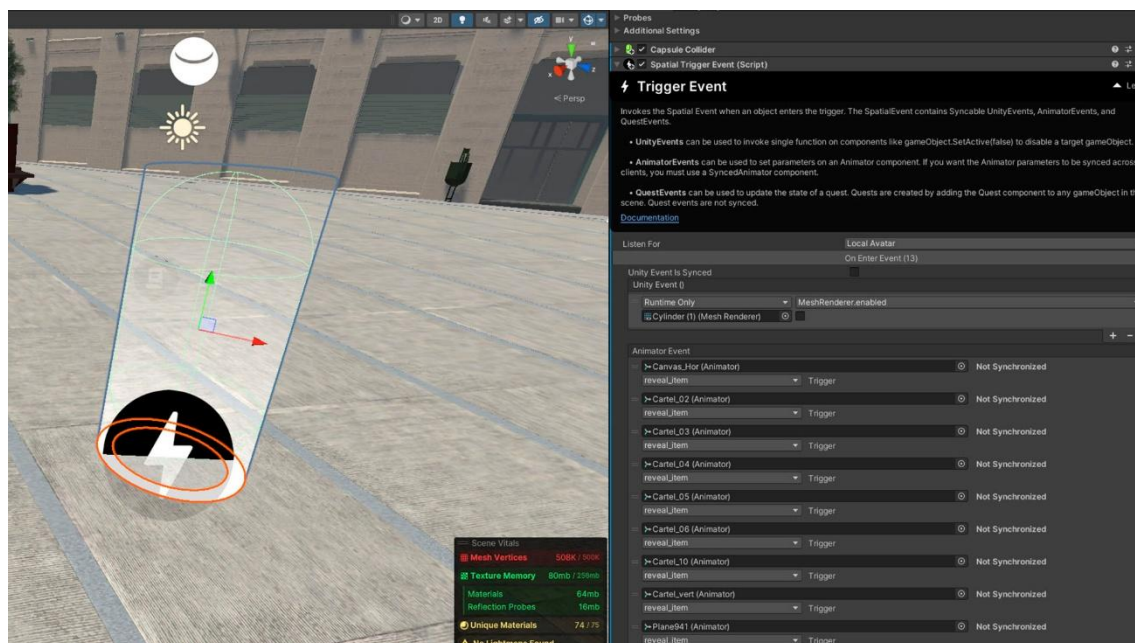


Figura VI-17: Elemento de colisión trigger ubicado dentro del cilindro iluminado. Cuando el avatar entra dentro del cilindro, el trigger activa la animación del despliegue de las las lonas conmemorativas sobre las fachadas.

Misión 2

El usuario debe encontrar las tres entradas a los edificios del Campus de Alcoy (1 en el edificio Ferrándiz y 2 en el de Carbonell). Se vuelve a utilizar un elemento similar al anterior (Trigger Event), para registrar la colisión y aumentar el contador del registro de misiones. Ver Figura VI-18.

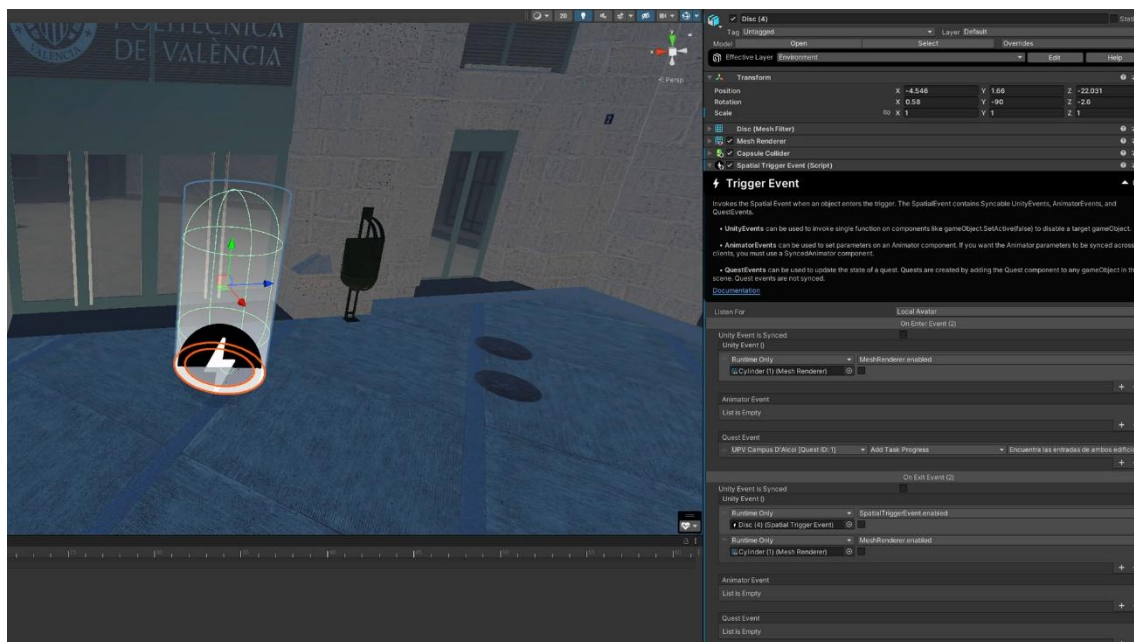


Figura VI-18: Detalle de uno de los Trigger Event situado en una de las puertas del edificio de Carbonell. Una vez se ha completado el objetivo, descubrirlas 3 puertas, se desbloquea la última misión.

Misión 3

El usuario debe subirse al escenario para completar la última misión. En este caso se ha determinado una zona de colisión tipo Trigger Event en el escenario de forma que active el evento que comprueba si el usuario a completado el objetivo. Al finalizar, aparecerá un mensaje de celebración. Ver Figura VI-19.

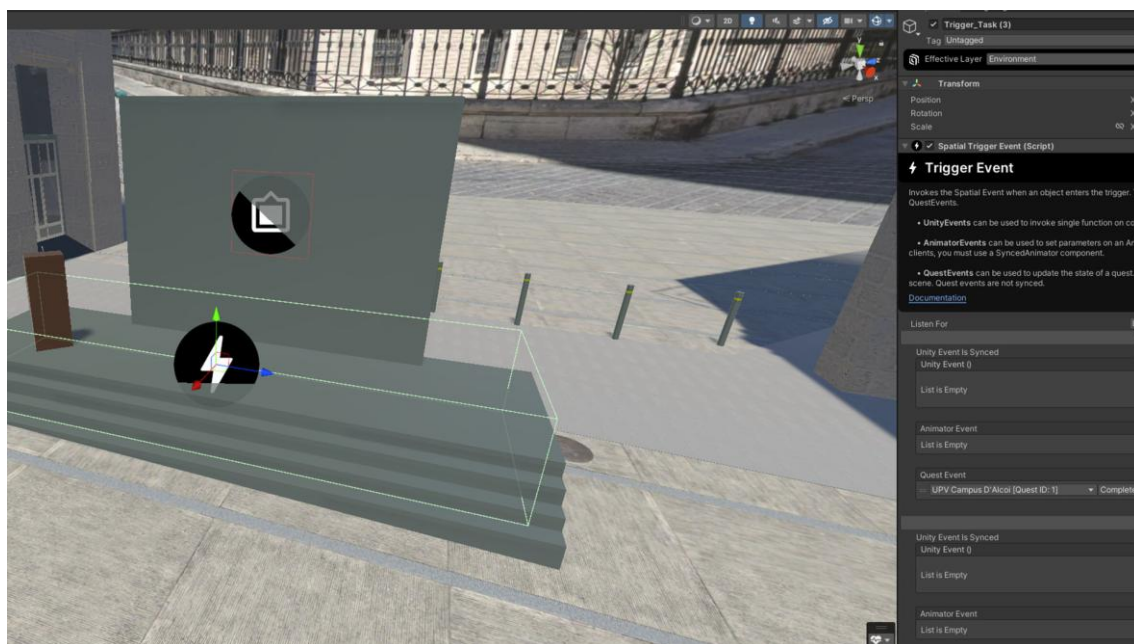


Figura VI-19: Detalle del escenario con el atril y la pantalla trasera. El usuario debe subirse al escenario para completar la misión.

Para optimizar la navegabilidad, se convirtieron todas las texturas empleadas en el escenario a texturas de base 2, de 1024 x 1024 píxeles. Se debe tratar tanto el modelado como el texturizado, bajo el criterio de optimización de los videojuegos, para no tener problemas luego en la jugabilidad en el metaverso. Para añadir más interactividad a la escena, se han incluido zonas para sentarse en los bancos y jardineras, mediante el componente Seat HotSpot. Esto añade más realismo a la escena y facilita en el caso de realizar charlas o formaciones en el escenario virtual, la posibilidad de que la gente permanezca sentada. Ver Figura VI-20.

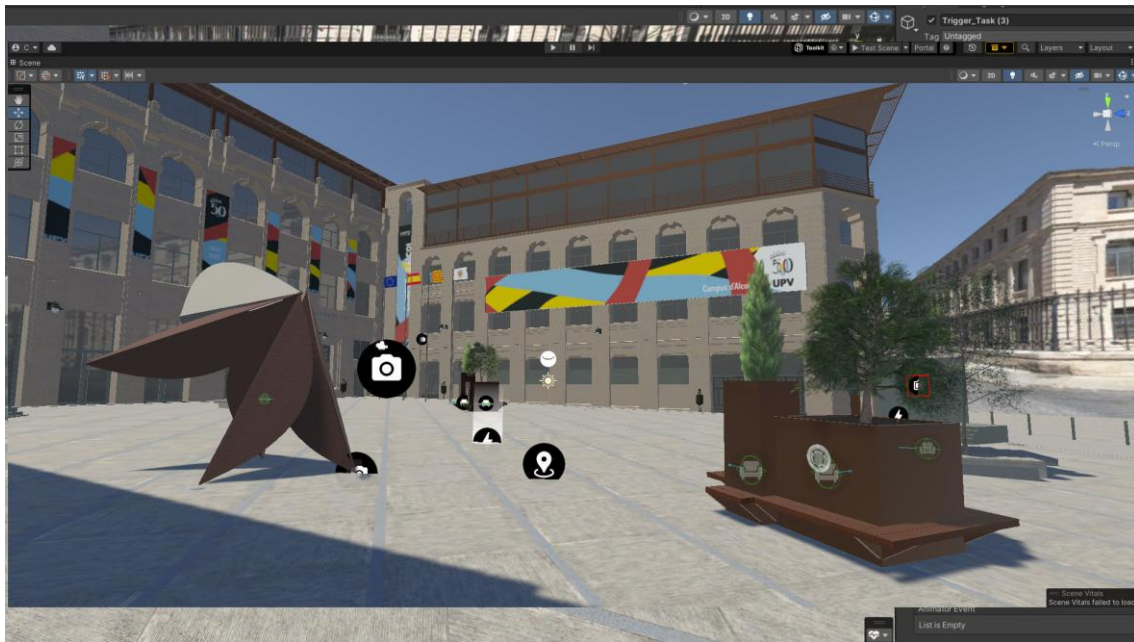


Figura VI-20: Resultado final del escenario en Unity, con todos los componentes insertados. En la jardinera se puede apreciar el componente Seat Hotspot, representado por un sillón.

6.2.5. Spatial.io. Inserción de material multimedia.

Y en la última fase del proceso de creación, exportamos la escena de Unity a Spatial. Desde la pestaña Spatial Portal en Unity, accedemos al menú Creator Kit. Desde ahí podremos configurar el nombre del escenario y la miniatura que se mostrará al iniciarse en Spatial. Previamente deberemos registrarnos con los datos de nuestra cuenta de Spatial. Mediante el botón Publish se iniciará el proceso de publicación en la red. Normalmente, tras 20-30 minutos, nos llegará un mail de confirmación indicando que nuestro escenario ya está publicado. Ver Figura VI-21.

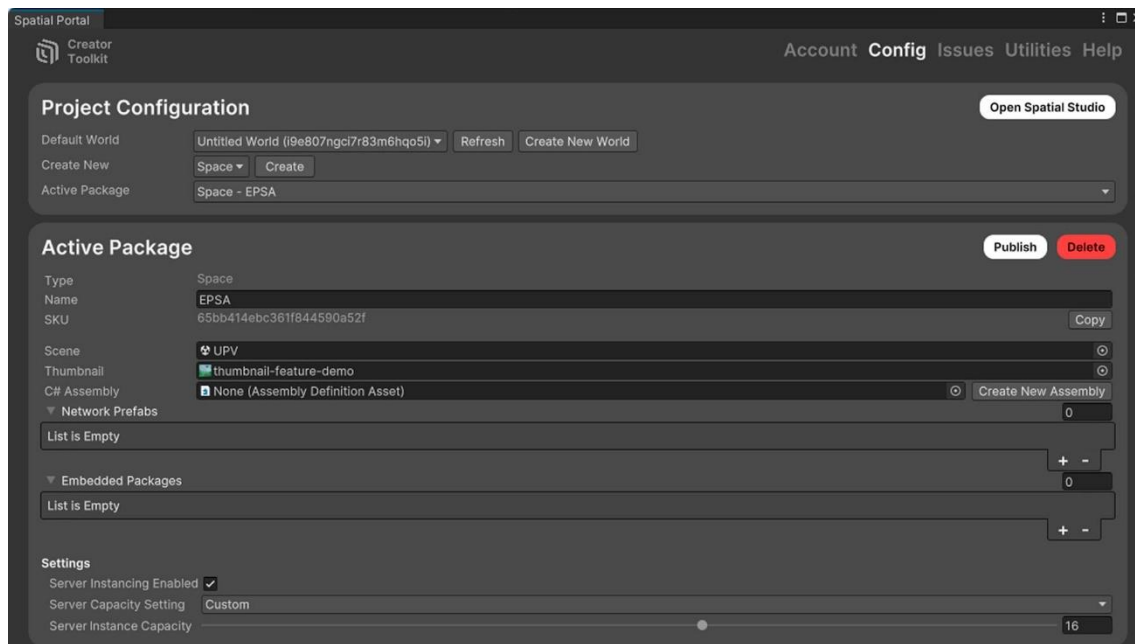


Figura VI-21: Menú de Creator Toolkit de Spatial en Unity, con los apartados de configuración y el icono de publicación.

Spatial.io es una plataforma avanzada que redefine la colaboración virtual al crear espacios 3D inmersivos donde los usuarios pueden reunirse, trabajar e interactuar. Aprovechando el poder de la AR y la VR, Spatial.io ofrece un entorno único e intuitivo que mejora la comunicación y la productividad. Permite el diseño de espacios virtuales personalizados donde los usuarios pueden crear entornos virtuales adaptados a sus necesidades, como galerías para exhibir arte, oficinas virtuales para colaboración en equipo o espacios educativos interactivos. La plataforma permite la integración de modelos y activos 3D desde diversos programas de diseño, facilitando a artistas, diseñadores y arquitectos la incorporación de sus creaciones en el entorno virtual. Además, Spatial.io soporta la colaboración simultánea de múltiples usuarios en un mismo espacio virtual, ideal para sesiones de lluvia de ideas, proyectos conjuntos o revisiones de diseño colaborativas. Los usuarios pueden construir presentaciones y demostraciones inmersivas, útiles para propuestas, seminarios educativos o exhibiciones de productos, ofreciendo experiencias más atractivas. Cada aspecto del espacio virtual es personalizable, desde la disposición y el diseño hasta las características y funcionalidades específicas, asegurando que el entorno se adapte a las necesidades únicas de cada proyecto. Spatial.io se integra con diversas herramientas y plataformas, permitiendo la incorporación de documentos, videos y widgets interactivos en los espacios virtuales, lo que mejora la funcionalidad y la interactividad del entorno. La plataforma permite la realización de eventos, talleres y experiencias dentro de los espacios virtuales, con características robustas de gestión de eventos, incluyendo audio espacial y gestión de asistentes, para garantizar experiencias virtuales fluidas y atractivas. Los espacios virtuales en Spatial.io pueden compartirse fácilmente mediante enlaces, facilitando la invitación a colaboradores, clientes o audiencias para explorar e interactuar en el espacio sin procesos de configuración complejos. Además, Spatial.io ofrece una amplia gama de plantillas premium sin necesidad de código, permitiendo a los creadores diseñar espacios interactivos de manera sencilla. La plataforma es compatible con dispositivos de VR, AR, web y móviles, garantizando una experiencia fluida y accesible desde cualquier dispositivo.

Se ha elegido Spatial, sobre otras plataformas como Roblox o Meta Horizon, porque está diseñado específicamente para crear entornos profesionales y colaborativos en el metaverso, lo que lo hace ideal para reuniones virtuales, galerías de arte digitales, exposiciones y eventos empresariales. Permite importar modelos 3D de alta calidad y utiliza renderizado avanzado que

proporciona gráficos más realistas en comparación con el estilo más cartoon y simplificado de Roblox. Además, está optimizado para experiencias en VR y AR, lo que lo convierte en una opción ideal para presentaciones inmersivas, recorridos virtuales y experiencias interactivas más avanzadas. Spatial.io permite a los usuarios crear experiencias sin necesidad de programar, gracias a herramientas de construcción no-code y plantillas prediseñadas. Roblox, por ejemplo, requiere conocimientos en Lua (Roblox Studio) para desarrollar experiencias más avanzadas, lo que representa una barrera para usuarios sin experiencia en programación. Spatial.io es accesible a través de navegadores web, dispositivos VR (Meta Quest, HTC Vive) y móviles, sin necesidad de instalar software adicional, mientras que Roblox requiere instalar la aplicación específica para cada plataforma y no tiene soporte directo en navegadores para experiencias avanzadas. En definitiva, elegimos Spatial.io porque es la mejor opción para crear nuestra plataforma para eventos virtuales, trabajo colaborativo, exposiciones o entornos de realidad con alta calidad. Sin embargo, como plataforma para videojuegos o monetización, utilizar Roblox hubiera sido una mejor opción. Puede verse una vista contrapicada del punto inicial del escenario en la Figura VI-22.



Figura VI-22. Vista del punto de inicio del avatar en el escenario. Se puede ver el detalle del zepelín con el logotipo del 50 aniversario, así como el cilindro iluminado que activa la aparición de las banderas.

En este apartado final, insertamos online todo el contenido multimedia, en nuestro caso los vídeos de los dos escenarios. Uno con la presentación del campus de Alcoy y otro con el vídeo conmemorativo del 50 aniversario. Es un poco molesta esta forma de trabajar con Spatial porque no permite insertar este contenido desde Unity. Hay que insertar un componente llamado Empty Frame, en aquellos lugares donde queramos añadir imágenes, presentaciones en powerpoint, pdfs o vídeos, para posteriormente con el escenario publicado, insertarlos online. La ventaja es que podemos editar este contenido, sin tener que volver a publicar el escenario. Ver Figura VI-23.

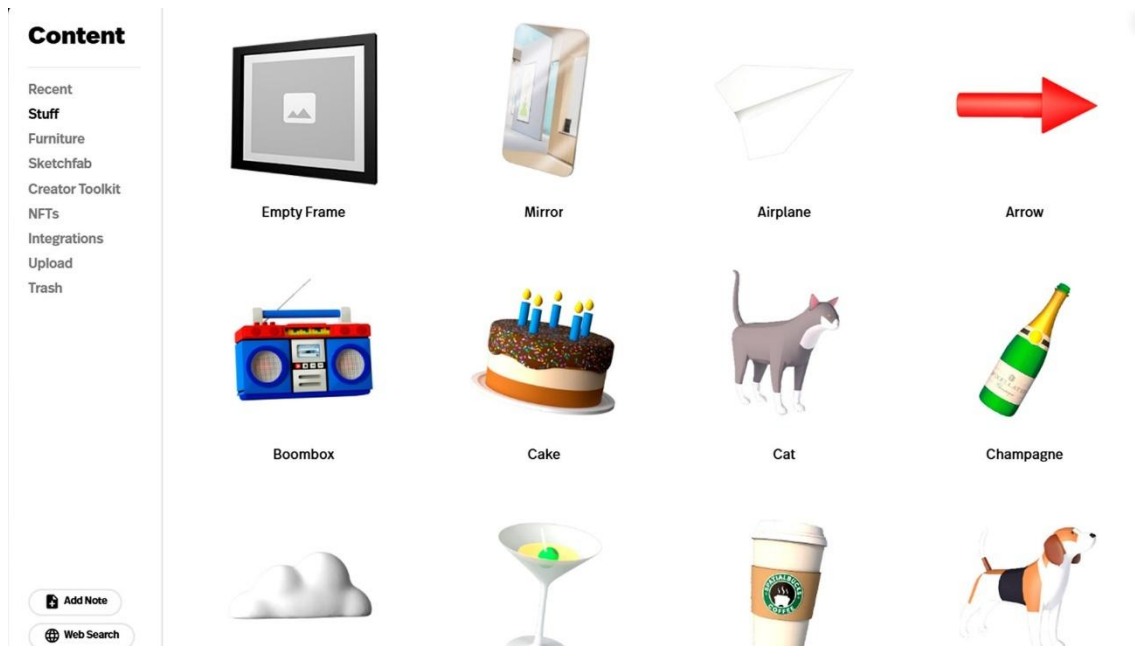


Figura VI-23: Detalle del menú de creación de contenido online de Spatial, donde podremos seleccionar nuestro Empty Frame.

Una de las principales ventajas de Spatial.io, es su interfaz adaptada al metaverso con herramientas de socialización como el chat por texto o por voz, junto con la inclusión de emoticonos o animaciones de bailes para nuestro avatar. Desde su icono Share, podemos hacer llamadas a toda la comunidad por mail o por redes sociales para anunciar un evento.

Tal y como hemos visto en la introducción, son muchas las empresas que han creado su metaverso con una estructura muy vertical con altos costes de implementación y mantenimiento. Creemos que Spatial.io es una herramienta más horizontal y accesible a todo tipo de público, lo que permite que cualquier negocio, entidad u organización, puede crear su propio espacio en el metaverso y compartirlo con la comunidad.

6.2.6. Diseño de investigación.

Para validar las versiones del gemelo digital de esta investigación, se utilizaron unas gafas Meta Quest 3, un PC y un Iphone, modelo X. Antes de cada test, con las gafas de realidad virtual, un técnico realizó un sencillo tutorial, explicando el propósito del test. Se indicó la forma de colocación de las gafas y la utilización de los mandos y sus botones, y cómo navegar por el espacio y sus menús. Se establecieron tareas específicas para evaluar la experiencia y se describieron las herramientas de socialización y de creación de avatares, así como la de creación de captura de imagen y vídeo. Se advirtió a los usuarios la posibilidad de tener sensación de mareo y se le recomendó realizar los movimientos de forma suave y pausada. Durante la prueba, el técnico acompañó virtualmente a cada usuario con su propio avatar, para evitar que se perdiera en el recorrido y supiera utilizar correctamente las herramientas de Spatial. Una vez el usuario tomaba soltura, se le dejaba navegar libremente por el escenario, sin límite de tiempo.

De este modo se realizaron tres fases en el test. Una primera con tareas dirigidas donde se asignaban acciones específicas para evaluar funcionalidades clave. Una segunda, donde se permitía al usuario navegar libremente por el entorno sin restricciones y una tercera con retroalimentación en tiempo real, donde se observaba las reacciones y se registraban los comentarios verbales. El test se daba por terminado en el momento que el usuario solicitaba abandonar el escenario.

Se realizó el mismo proceso para los test de la aplicación desde el PC portátil y desde el Iphone. Se les introdujo en el mismo escenario, para que coexistirán con la persona que, en el mismo instante, estaba realizando la prueba con las Meta Quest 3. Las pruebas se realizaron de forma individual en cada una de las plataformas. Para los test con las gafas y el móvil se utilizó la red wifi de campus, a una velocidad de 500Mb/s y con el PC se utilizó la red LAN de 1GB/s.

En una primera fase (versión Tester), el gemelo digital fue evaluado por 10 compañeros del Departamento de Expresión Gráfica. Con las indicaciones de nuestros compañeros, se realizó una segunda versión (Versión Student) que fue evaluada por 265 alumnos del Grado de Diseño Industrial.

6.2.7. Análisis de datos.

Para validar la metodología empleada en los ensayos, se realizaron entrevistas a los alumnos y se realizaron pruebas para evaluar el grado de satisfacción de la experiencia inmersiva con las gafas de VR (Caso 1) con el PC (Caso 2) y con el Iphone X (Caso 3). Se entregaron a cada usuario, dos cuestionarios tipo: el IPQ (Cuestionario de Presencia Igroup) y el SUS (Escala de usabilidad del Sistema).

El iGroup Presence Questionnaire (IPQ) es un cuestionario diseñado para medir la sensación de presencia de las personas en entornos virtuales, como los de VR. La presencia se refiere a la sensación subjetiva de "estar" realmente en un entorno virtual, más allá de simplemente interactuar con una simulación digital. Este cuestionario fue desarrollado para evaluar esta experiencia inmersiva y es ampliamente utilizado en estudios de realidad virtual y entornos digitales interactivos.

El IPQ se estructura en 14 cuestiones para evaluar diferentes aspectos de la experiencia de presencia, tales como:

- 1.- Presencia Espacial: Evalúa la percepción de "estar físicamente en otro lugar" mientras está en el entorno virtual.
- 2.- Presencia Envolvente: Mide el nivel de concentración e interés en el entorno virtual. Una mayor participación sugiere que el usuario se ha "sumergido" emocionalmente en la experiencia.
- 3.- Presencia Realismo: Captura la percepción de realismo del entorno virtual. Evalúa si los usuarios sienten que el entorno es "creíble" o similar al mundo real.
- 4.- Presencia General: Una medida más general de la presencia que complementa las demás dimensiones y permite obtener una visión global de la experiencia de presencia.

El IPQ se usa para evaluar la efectividad de entornos virtuales en generar una experiencia de inmersión, comparar diferentes tecnologías de VR o AR para ver cuáles generan una mayor sensación de presencia y mejorar el diseño de experiencias inmersivas en videojuegos, simulaciones de entrenamiento, terapia de exposición y aplicaciones educativas. Las 14 preguntas del cuestionario IPQ, se detallan en la Tabla VI-1. El método de medición empleado para este cuestionario, es una escala de tipo Likert de 7 puntos. En este artículo se analizan las variables de cada prueba, utilizando una desviación estándar del promedio de las puntuaciones de las preguntas, en cada test.

Número	Pregunta
IPQ1	En el mundo generado por ordenador, tenía una sensación de "estar allí".
IPQ2	De alguna manera, sentí que el mundo virtual me rodeaba.
IPQ3	Sentí que solo estaba percibiendo imágenes.
IPQ4	No me sentí presente en el espacio virtual.
IPQ5	Tenía la sensación de actuar en el espacio virtual, en lugar de operar algo desde fuera.
IPQ6	Me sentí presente en el espacio virtual.
IPQ7	¿Eras consciente del mundo real que te rodeaba mientras navegabas en el mundo virtual? (i.e., sonidos, espacio de la habitación, otras personas, etc.)?
IPQ8	No era consciente de mi entorno real.
IPQ9	Todavía prestaba atención al entorno real.
IPQ10	Estaba completamente cautivado por el mundo virtual.
IPQ11	¿Cómo de real te pareció el entorno virtual?
IPQ12	¿Cuánto te pareció que tu experiencia en el entorno virtual era consistente con tu experiencia en el mundo real?
IPQ13	¿Qué tan real te pareció el mundo virtual?
IPQ14	El mundo virtual parecía más realista que el mundo real.

Tabla VI-1: Descripción de las 14 cuestiones del IPQ.

Por su parte el SUS es un cuestionario de 10 preguntas diseñado para evaluar la usabilidad de sistemas y productos tecnológicos, como sitios web, aplicaciones y dispositivos. Fue desarrollado en 1986 por John Brooke y es ampliamente utilizado porque es rápido, fácil de administrar y efectivo para obtener una medida general de la usabilidad. Las 10 preguntas se detallan en la Tabla VI-2 y los usuarios deben responder después de interactuar con el sistema o producto. Las preguntas alternan entre afirmaciones positivas y negativas para reducir el sesgo y abarcan aspectos de usabilidad y aprendizaje del sistema. Cada afirmación se evalúa en una escala de Likert de 5 puntos, que va de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). El SUS proporciona un puntaje de 0 a 100. No representa un porcentaje, sino que permite comparar la usabilidad relativa de diferentes sistemas y establecer si un sistema es fácil o difícil de usar.

La fórmula se puede expresar de manera matemática así:

$$\text{SUS} = ((Q1-1) + (5-Q2) + (Q3-1) + (5-Q4) + (Q5-1) + (5-Q6) + (Q7-1) + (5-Q8) + (Q9-1) + (5-Q10)) \times 2.5$$

En esta fórmula, las variables desde Q1 a Q2 son las respuestas a las 10 preguntas. Para evaluar las respuestas de todos los test, se calcula la media y la desviación estándar. Ver Tabla VI-2.

Número	Pregunta
SUS1	Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.
SUS2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.
SUS3	El sistema era fácil de usar
SUS4	Creo que necesitaría el apoyo de una persona técnica para poder usar este sistema.
SUS5	Las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.
SUS6	Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
SUS7	Creo que la mayoría de las personas aprenderán a usar este sistema muy rápidamente.
SUS8	Encontré el sistema muy engorroso de usar.
SUS9	Me sentí muy seguro usando el sistema.
SUS10	Necesitaría aprender muchas cosas, antes de poder empezar a usar este sistema.

Tabla VI-2: Descripción de las preguntas del test SUS.

6.3. Resultados.

En este apartado, describimos la aplicación del evento para el metaverso generado con el gemelo digital. En la Figura VI-24 se puede ver a una pareja de usuarios realizando el test. Los dos usuarios realizaron previamente el tutorial del técnico, para familiarizarse con la aplicación.



Figura 24: Alumnos del Grado de Diseño testeando la aplicación diseñada.

Al entrar en el espacio inmersivo, los usuarios podían navegar libremente por la el gemelo digital, interactuar con otros usuarios y cumplir las misiones. Se les conectó con la misma cuenta de Spatial.io para que pudieran interactuar al mismo tiempo, entre ellos desde dispositivos distintos.

Las figuras VI-25 – VI-28 se muestran detalles del escenario virtual del Gemelo Digital, donde se aprecian las fachadas de los edificios de Ferrándiz y Carbonell, así como todos los elementos de la plaza, mobiliario urbano, estatua, etc.... se pueden apreciar los elementos que identifican el evento, las lonas sobre las fachadas y el zepelín con el logo del 50 aniversario. Se puede apreciar también como el avatar puede sentarse en los bancos o jardineras, y cómo puede ir resolviendo las misiones, para descubrir la celebración final. Es importante destacar el acabado fotorealístico de la aplicación, así como su fluidez de movimiento. En ningún momento se detectaron parones o golpes durante los test. Nunca los frames por segundo bajaron de 25. El realismo y la sensación de inmersión fueron las cosas más comentadas por los usuarios.

Se detectaron diferentes comportamientos: en el caso del usuario de las gafas de realidad virtual, la sensación de inmersión fue mayor, así como la de un cierto mareo. Estuvo más tiempo observando los detalles del modelado y las texturas. En cambio, el usuario del PC y del Iphone, estuvo más tiempo experimentando las herramientas para correr y saltar, así como las de socialización de la plataforma Spatial: chat, ejecución de bailes y envío de emoticonos. El usuario de realidad virtual se centró más en explorar y moverse por el espacio explorando lo que tenía a su alrededor.

Entre ambos usuarios la interacción fue fluida. Se mandaron emoticonos y mensajes de texto, entablando una conversación sobre el aspecto del stand, mejorando así la experiencia virtual. Se detectaron dificultades por parte del usuario de realidad virtual, al manejar algunos menús e iconos, así como los mencionados “mareos”, si la navegación era muy brusca.



Figura VI-25: Vista del gemelo digital, desde la puerta del Edificio de Carbonell.



Figura VI-26: Detalle de como el avatar puede sentarse y contemplar toda la plaza.



Figura VI-27: Momento en el que el avatar supera la primera misión y se despliegan las las lonas sobre las fachadas.

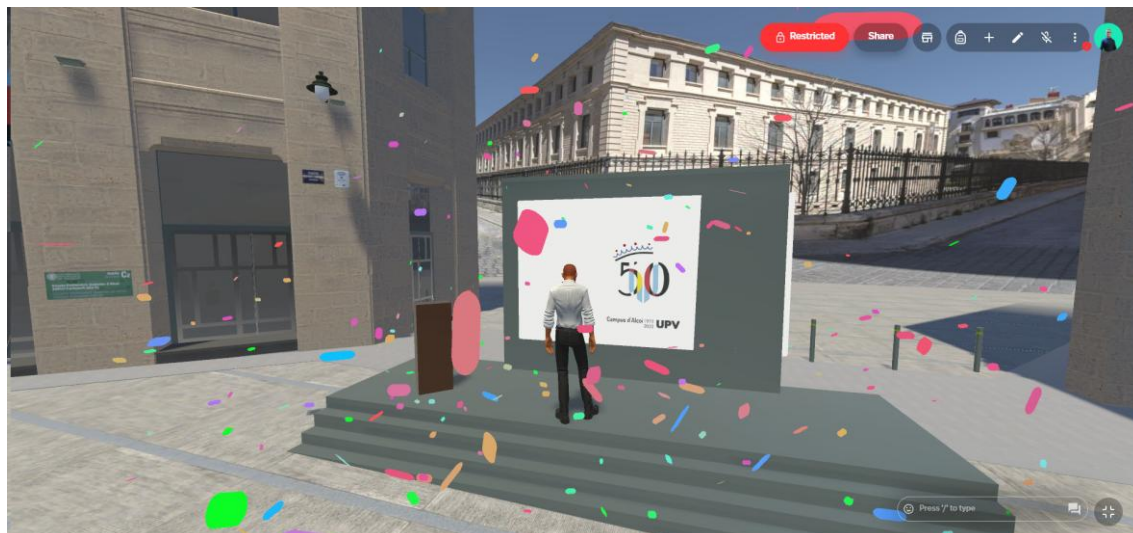


Figura VI-28: Detalle de la celebración cuando el avatar cumple las 3 misiones.

El análisis se realizó para un total de 265 usuarios. El balance demográfico fue el siguiente, 134 indicaron que eran hombres y 131 indicaron que eran mujeres. Por edades, el grupo de alumnos estaba en el rango entre 20 y 24 años. El 56,98 % manifestó que utilizaba diariamente estas nuevas tecnologías, como ocio en videojuegos o visualización de películas. El 18,86% manifestó que las utilizaba ocasionalmente. Finalmente, se les preguntó si habían tenido ya experiencias con el metaverso y el 37,73% respondieron afirmativamente.

En las siguientes figuras, se pueden apreciar los datos obtenidos del IPQ, En la Figura VI-29, se indican la media y la desviación estándar para cada pregunta del IPQ. Se indica cada subescala del cuestionario en porcentaje, respecto a la media y la desviación obtenidas en los cuestionarios.

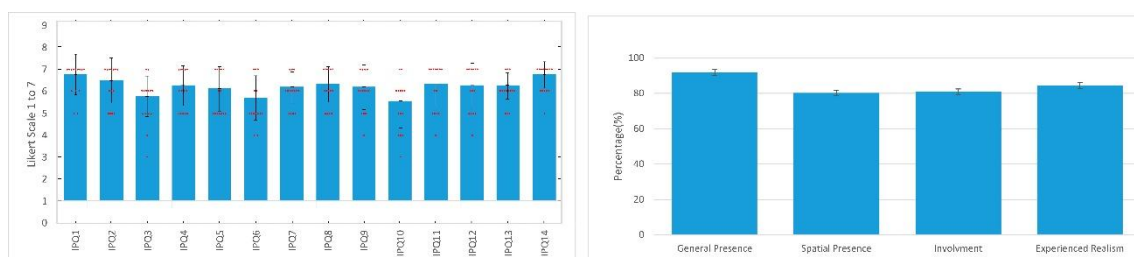


Figura VI-29: Resultados del Cuestionario de Presencia del Igrupo. En el gráfico de la izquierda se representan con puntos rojos los datos obtenidos, las barras azules, la media y la desviación estándar se representa con las líneas negras verticales. En el gráfico de la derecha se representan los resultados de las subescalas, su media y su desviación estándar.

Los datos obtenidos indican que el 92,86% de los encuestados, experimentaron una Presencia General, con una desviación del 0,76%. Esto indica que los usuarios tuvieron una sensación de inmersión alta, dentro del Entorno Visual (VE). En cuanto a la Presencial Espacial, se obtuvo una puntuación de un 83,16% con una desviación del 0,88%, lo que indica que los usuarios tuvieron la sensación de estar físicamente presentes dentro del gemelo digital del stand. El 82,91% de los encuestados, con una desviación del 0,92%, afirmaron que tuvieron una participación alta dentro del VE. En cuanto al Realismo Experimentado, el 87,76% de los encuestados, con una

desviación del 1,04%, afirmó sentirse inmersos dentro del VE. Estos datos respaldan nuestro primer objetivo, crear un gemelo digital del campus de Alcoy para que tanto alumnos, como profesores y visitantes puedan realizar talleres, conferencias, eventos para potenciar la difusión del conocimiento.

Respecto a los datos obtenidos en el cuestionario SUS, la usabilidad percibida global obtuvo una puntuación de 88,39 sobre 100 (rango de 74 a 100 con una desviación estándar de 8,7) lo que indica un nivel muy alto de usabilidad para la aplicación propuesta. En la Figura VI-30 se representan visualmente los resultados de cada pregunta del cuestionario SUS, definidas en la Tabla VI-2. Cabe destacar que la mayoría de los usuarios expresaron su voluntad de utilizar esta aplicación con frecuencia, destacando su fácil usabilidad. Los alumnos testeados indicaron que, el escenario y las misiones del evento virtual estaban bien integradas, lo que garantizaba una experiencia coherente y fluida. Además, los encuestados indicaron confianza en sus interacciones con la aplicación.

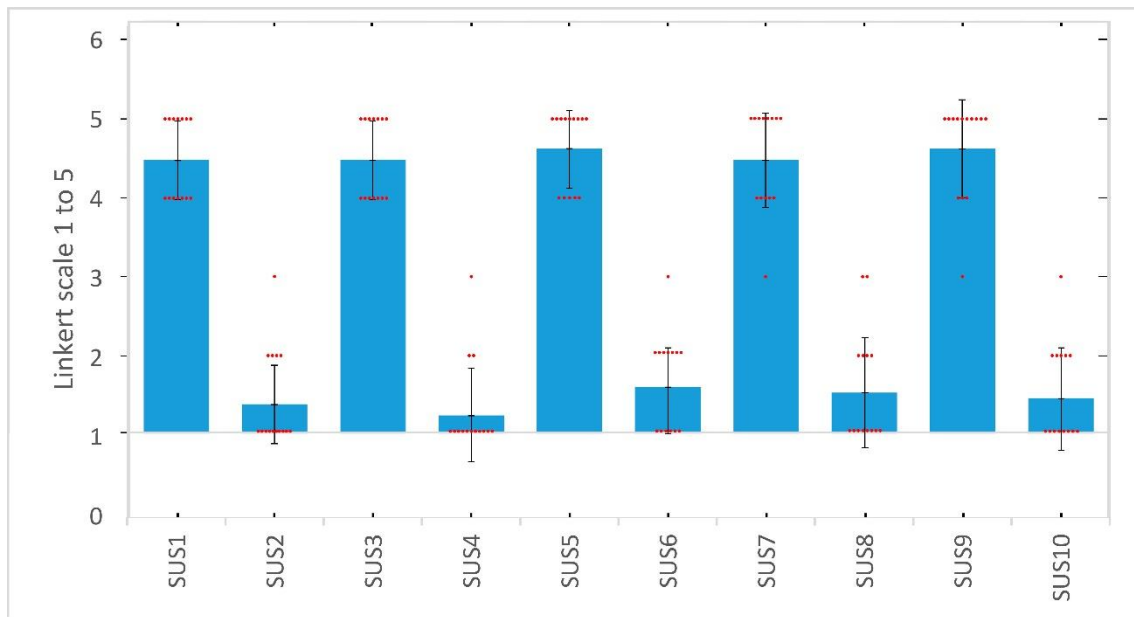


Figura 30. Resultados obtenidos en el cuestionario SUS: datos (puntos rojos), media (barras azules) y desviación estándar (líneas negras verticales).

6.4. Discusión.

La presentación pública de la versión alfa del Gemelo Digital desarrollado, se realizó el pasado 7 de abril de 2024, en la Gala del 50 aniversario de la unión entre la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial y la Universitat Politècnica de València. Se preparó un pequeño stand con un PC y unas gafas Meta Quest 3, ambos conectados a la red wifi del campus de Alcoy. Los dos dispositivos se conectaron a la misma cuenta de Spatial y la salida de vídeo del PC, además de a una pantalla de televisión de 50 pulgadas, para que el público presente en la gala, pudiera ver el mismo espacio virtual que las personas que probaban la aplicación. Ver Figura VI-31.



Figura VI-31: Alumnos, profesores y público asistente probando y visualizando la aplicación.

Un técnico informó previamente a cada prueba, sobre el funcionamiento de las gafas y sus mandos. Entró con los usuarios, a partir de un dispositivo móvil (Iphone X), y actuó como acompañante para explicarles el funcionamiento de la aplicación del gemelo digital. Una vez el técnico interpretaba que el usuario ya navegaba con soltura por el escenario, se le daba total libertad para testear cada una de las funciones.

La aplicación del gemelo digital del campus de Alcoy se presentó como una plataforma base, para la divulgación de conocimiento, por parte de cada uno de los departamentos, a través del espacio virtual. La creación de conferencias, talleres, eventos virtuales facilita el acceso a dicho conocimiento a todo usuario que se conecte online a la aplicación desde Spatial.io.

Tras la experiencia, se facilitó a los asistentes un cuestionario técnico, con cinco preguntas cualitativas y dos cuantitativas. Ver Tabla VI-3. Cuarenta usuarios aleatorios con edades entre los 16 y los 70 años completaron esta encuesta, cuyo objetivo era medir su grado de satisfacción durante la experiencia y su valoración de la calidad del Gemelo Digital.

Número	Tipo	Descripción de la pregunta
1	Cuantitativa	¿Cómo ha sido tu experiencia de navegación e interacción?
2	Cuantitativa	¿Te resultó fácil completar las misiones?
3	Cuantitativa	¿Te ha sido útil la ayuda del guía y la posibilidad de conectarte con otros usuarios?
4	Cuantitativa	¿Pudiste completar las misiones sin ayuda externa?
5	Cuantitativa	¿Qué te pareció la aplicación del Gemelo Digital?
6	Cualitativa	¿Te pareció útil la experiencia?
7	Cualitativa	¿Recomendarías la experiencia?

Tabla VI-3. Cuestionario presentado a los asistentes a la gala del 50 aniversario.

Los usuarios podían responder en una escala del 1 (“Muy insatisfactorio”) al 5 (“Muy satisfactorio”). La puntuación media obtenida fue de un 4.5, con una desviación estándar de 0.7, lo que nos indica que el usuario quedó satisfecho con la experiencia. Solamente seis encuestados, calificaron alguna pregunta con un valor de 1, pues encontraron dificultades en la navegación con las gafas de realidad virtual. El 85% de los usuarios manifestó satisfactoriamente la utilización y navegación por el gemelo digital y sus misiones, y sólo dos, tuvieron problemas para terminarla. Estos datos reveladores, servirán para mejorar tanto el tutorial explicativo, como para añadir ayudas visuales dentro del entorno virtual, para ayudar al usuario a manejar mejor las herramientas internas de la aplicación. En general la experiencia para la mayoría de los usuarios fue satisfactoria, pero se indicaron en discusiones posteriores a la experiencia, mejoras a realizar, como voz en off y ayudas interactivas, un tour virtual explicando las funcionalidades de la aplicación y mejoras gráficas. En un principio los comentarios activaron el efecto de sorpresa en el usuario, al entrar en la aplicación, ya que veía replicado con mucho detalle lo que conocía en la realidad. Conforme el usuario iba explorando el espacio se fueron indicando opciones de mejoras “Es muy divertido y útil para visualizar en tiempo real la plaza y los edificios del campus, aquí se pueden montar muchas actividades, pero marea un poco” “¿Este tipo de aplicaciones se pueden aplicar a otros eventos como conciertos o videojuegos?” “He estado algo perdido al principio, pero luego tenía la sensación de estar totalmente integrado en la plaza. Es una herramienta muy útil”.

Estas respuestas tan valiosas, sirvieron para mejoras posteriores, sobre todo en el tutorial previo. Se eliminó texto explicativo del mismo y se incorporó más información gráfica. También se insertaron carteles explicativos, para indicar al usuario las funciones del teclado. En la figura VI-32, se pueden apreciar algunos ejemplos de los nuevos carteles explicativos añadidos.

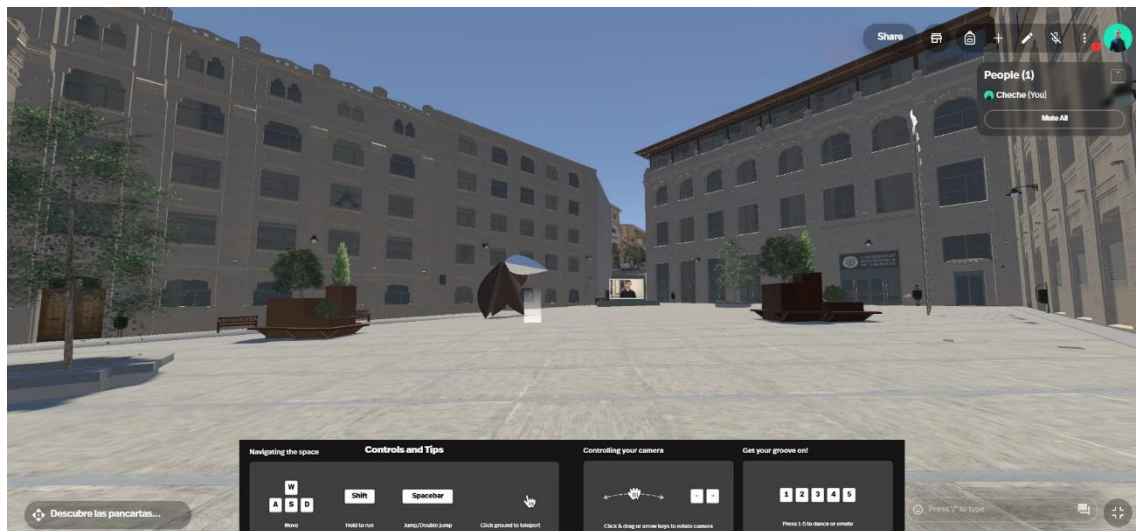


Figura VI-32: Detalle de los gráficos introducidos para que el usuario aprenda mejor el funcionamiento de os mandos, para mejorar la navegabilidad.

Estos cambios tienen como finalidad optimizar la navegación y la experiencia del usuario dentro del entorno inmersivo. A futuro, se proyecta la ampliación del número y diversidad de usuarios, así como el uso de dispositivos de realidad virtual, con el propósito de analizar la interacción entre múltiples individuos y las posibles dinámicas comunicativas que puedan surgir a través de chat, voz u otros medios. Asimismo, las actualizaciones y mejoras implementadas en el Toolkit Creator de Spatial serán evaluadas y, en caso de considerarse pertinentes, incorporadas en las aplicaciones correspondientes. Cabe resaltar que las aplicaciones desarrolladas en este estudio presentan un alto potencial para el ámbito educativo, al posibilitar la difusión del conocimiento

de manera interactiva e innovadora [165]. Como líneas futuras de investigación se prevé la aplicación industrial de estos gemelos digitales [166,167], así como su aplicación en eventos deportivos dentro de la Universidad [168-170]. Su aplicación en el campo de la salud, como coordinación con las bajas médicas de los alumnos y profesores [171,172] y la ampliación a otros edificios del campus [173-175]. Sin embargo, es fundamental considerar aspectos relacionados con la privacidad y la protección de datos de los usuarios. En la versión actual de la aplicación, las pruebas han sido realizadas de manera anónima; no obstante, en el futuro, la recopilación de datos de los usuarios podría ser requerida por los clientes, por lo que será imprescindible el cumplimiento de la normativa vigente en materia de protección de datos. Si bien esta tecnología favorece la conectividad global, la accesibilidad y la inclusión, es necesario subrayar que no sustituirá completamente las interacciones humanas en su totalidad.

Por otra parte, debe considerarse el impacto ambiental y la sostenibilidad de los dispositivos de visualización en el futuro. La evolución de estos dispositivos deberá orientarse hacia materiales más ecológicos y reciclables, siguiendo una tendencia similar a la observada en la industria de los teléfonos móviles, en la que se han desarrollado dispositivos más compactos y con materiales sostenibles. En este sentido, Meta ha desarrollado un prototipo de gafas de realidad virtual, denominadas Orion, ver Figura VI-33, que presentan un diseño más ligero, eficiente y sostenible en comparación con las actuales Meta Quest 3. Aunque su costo inicial es elevado, se espera que con el tiempo se conviertan en dispositivos de uso cotidiano capaces de integrar múltiples funcionalidades, reemplazando dispositivos como teléfonos móviles, relojes inteligentes y auriculares, con la incorporación de experiencias de VR y AR.



Figura VI-33: Aspecto de las nuevas gafas de AR de Meta. Se puede apreciar la reducción de tamaño, con respecto a las Meta Quest 3.

6.5. Conclusiones.

Este artículo analiza la aplicación de las nuevas tecnologías en la modernización y optimización del sector educativo y en particular el ámbito de la realización de eventos. Mediante la implementación del *Spatial Creator Toolkit v1.60*, lanzado en octubre de 2024, se ha mostrado su utilidad como herramienta para la creación de un contenido en el metaverso, concretamente en la generación del gemelo digital de parte del conjunto arquitectónico del Campus de Alcoy.

Las pruebas empíricas realizadas han validado la metodología para la reproducción y diseño de los edificios, complementadas con herramientas de simulación inmersiva y algunas tecnologías propias de los entornos creados para videojuegos. Con todo esto, se ha evidenciado que estas tecnologías son un recurso para la divulgación del conocimiento, que actúan en beneficio de la participación, gracias a su carácter inmersivo, y potencian la percepción múltiple, basada en una experiencia general del usuario amplificada.

Los resultados de este estudio sugieren que estas tecnologías son aplicables en el ámbito educativos por diferentes motivos porque aumentan el atractivo de las materias y promueven un aprendizaje basado en la gamificación. Asimismo, se ha demostrado que la utilización de gemelos digitales contribuye a otro modo de experiencia del usuario, con una usabilidad amplia incluso poco convencional, lo que aporta un valor añadido a los entornos virtuales desarrollados.

Las futuras líneas de investigación proponen implicar estos conocimientos en otras áreas de conocimiento del campus, como las correspondientes a la ciencia de materiales o ingeniería eléctrica, con el objetivo de personalizar de manera más específica las actividades desarrollables en los talleres, o convertir las conferencias y los eventos en actividades más versátiles con la optimización de la transmisión de información científica.

La expectativa acerca del potencial de estas tecnologías prevé que su implementación en distintos sectores favorezca la transición hacia la Industria 5.0. Esta nueva etapa industrial enfatiza la sinergia entre humanos y los sistemas automatizados, promoviendo una producción más eficiente y colaborativa, en definitiva, una industria que está orientada hacia el bienestar humano y especialmente a la sostenibilidad, a diferencia de la Industria 4.0, que se caracteriza por la automatización, digitalización recurriendo a la AI.

Otro de los objetivos en futuras investigaciones es el desarrollo de un manual de buenas prácticas para la creación de contenido en el metaverso. Esta guía establecerá los principios técnico-metodológicos y fundamentales para el diseño de entornos virtuales, abordando aspectos básicos como la composición, la armonización cromática y la usabilidad. De manera análoga al diseño arquitectónico o industrial, donde se estudian factores como el color, los materiales, la ergonomía y la funcionalidad, la construcción de espacios en el metaverso requerirá la adopción de unos estándares mínimos de diseño compositivo específicos. La aplicación de estas pautas permitirá diferenciar entre entornos virtuales menos ergonómicos y aquellos que proporcionen una experiencia mejorada.

7.- Discusión general.

Esta tesis reúne los resultados de varios escenarios experimentales virtuales creados para investigar las aplicaciones de VR mediante técnicas de diseño y su evolución hacia la industria 5.0. (H0). De esta manera, se ha comprobado que el buen diseño mejora y facilita la navegabilidad y la UX(H1) y cómo, mediante la VR, el MV y los DT, se pueden flexibilizar los espacios museísticos (H2). Seguidamente se han analizado algunos stands de feria que exponían productos textiles para reducir sus costes recurriendo alternativas virtuales (H3) y finalmente se investigó cómo estas tecnologías pueden amplificar las posibilidades de comunicación de cualquier hecho real, mediante la construcción de escenarios virtuales (H4).

En relación con la primera hipótesis, se demostró que la aplicación de las leyes compositivas básicas de la forma al diseño de espacios, mejora la experiencia del usuario en entornos inmersivos (H0). Esta hipótesis ha sido corroborada mediante los datos que conforman la evidencia empírica recogida en los estudios experimentales realizados. En consecuencia, se demuestra H0, y estos resultados coinciden con los obtenidos en investigaciones previas, como las de Winters (2021), Fink (2018) y Acevedo Nieto (2022).

Tras esta hipótesis general se han formulado otras hipótesis secundarias más específicas según para qué ámbito: (1) en el artículo *“Basic Aspects of digital interior design in virtual reality and its adaptation to the metaverse. Biomimetic case.”*, se demostró cómo el buen diseño mejoraba la navegabilidad del usuario al conseguir llegar a cada uno de los stands del escenario con facilidad (H1). Se comprobó de nuevo que, las teorías básicas de la composición de la forma continúan teniendo su repercusión en el diseño y creación de espacios inmersivos para el metaverso, puesto que se pueden integrar estos principios estéticos y compositivos al servicio de la ergonomía general del usuario. El diseño UX, enfocado en la interacción fluida resulta esencial para estructurar experiencias y satisfactoria basadas en la intuición potenciada desde los entornos virtuales. Por otro lado, se comprueba que recurrir a algunas tipologías del diseño de juegos ofrecen estrategias lúdicas útiles para enriquecer la interactividad. Estos enfoques lúdicos suelen contar con espacios virtuales visualmente atractivos Y funcionales que para nuestro propósito, amplían las posibilidades significativas y creativas en el MV. Así, se refuerza la importancia de aplicar directrices del diseño tradicional en el desarrollo de estas nuevas experiencias digitales inmersivas.

En este otro artículo *“Hibridación del metaverso en los museos. La tecnología de interactividad como canal de inmersión en la cultura”* se propuso mejorar la UX mediante estas tecnologías, ofreciendo la posibilidad de sustituir las exposiciones itinerantes, por museos virtuales donde el artista puede mostrar su obra, sin límites temporales (H2). Se concluyó que el MV representa una herramienta transformadora para la gestión de contenidos en los museos, al ampliar sus capacidades divulgativas y sus posibilidades de investigación a través de experiencias inmersivas e interactivas. Además, se informó de cómo que puede facilitar el acceso democrático y sostenible al arte, la historia y la cultura, al romper barreras físicas y adaptarse a diversas edades y capacidades. Se ha evidenciado así que la integración del MV con tecnologías como la AR, VR y la holografía redefine la experiencia museística, promoviendo la “participación activa” del usuario y altera las relaciones espaciotemporales tradicionales. Esta transición del espectador al usuario de la cultura exige repensar la mediación museística y anticipa la consolidación de espacios híbridos físico-digitales.

En el siguiente artículo, en *“El diseño de gemelos digitales para la celebración de eventos de carácter conmemorativo en el metaverso”* se planteó posibilidad de mejorar la divulgación tradicional de los eventos conmemorativos empleando escenarios virtuales gracias al uso de MV

y DT (H4). “Creación de stands virtuales en el Metaverso: Aplicaciones en el sector textil” se planteó la posibilidad de reducir costes en la fase de fabricación de un stand real de una feria de muestras, mediante la utilización de VR, MV y DT(H3). En este artículo se pudo comprobar como mediante una prueba aplicada al sector textil, se demostró, el potencial del Spatial Creator Toolkit v1.60 para generar gemelos digitales de stands comerciales en el MV. Mediante principios básicos del diseño y simulación de materiales, se evidenció una mejora en la experiencia del usuario, aumentando la inmersión y reduciendo costes logísticos. La investigación apunta a la aplicabilidad de estas tecnologías en múltiples industrias, en línea con los principios de la Industria 5.0, orientada a la colaboración humano-máquina y la sostenibilidad. Se proyectan futuras investigaciones en sectores como la cerámica y el mobiliario.

8.- Conclusiones

La presente investigación ha mostrado el potencial transformador de la VR, el MV y los DT como herramientas clave en la evolución hacia la Industria 5.0. A través de una serie de estudios empíricos y pruebas de concepto desarrolladas en sectores como la cosmética, los museos, educación, la industria textil, el diseño de stands comerciales y el patrimonio cultural, se ha validado la utilidad de estas tecnologías no solo como medios de visualización avanzados, sino como entornos activos de interacción, formación y optimización de procesos.

Una de las principales conclusiones es que los entornos inmersivos generados mediante VR y MV permiten una experiencia multisensorial que mejora significativamente la comprensión, afectando positivamente su compromiso con el aprendizaje, la experiencia y la toma de decisiones de los usuarios implicados. La incorporación de gemelos digitales evidencia su capacidad para simular, testar y optimizar procesos industriales sin necesidad de recurrir a prototipos físicos, lo que implica, entre otras cuestiones, una reducción considerable en costes y tiempos de gestión, además de una mejora en la sostenibilidad de los ciclos de producción y seguridad laboral.

Asimismo, en este trabajo se constata que la Industria 5.0 —caracterizada por la colaboración sinérgica entre seres humanos y sistemas automatizados— encuentra en estas tecnologías un soporte adecuado para lograr una personalización masiva de los procesos y productos, una mayor adaptabilidad de los entornos productivos y una revalorización del factor humano en la toma de decisiones. Se destaca, además, la dimensión educativa y formativa del MV, que permite simular escenarios complejos y formar a futuros profesionales en entornos seguros, flexibles y de alta fidelidad.

La hipótesis principal de esta investigación reside en explorar cómo la integración de MV, VR y DT puede redefinir los modelos tradicionales en sectores clave como la Industria 5.0, la educación, la formación profesional y los museos.

Habiendo experimentado esto en varias áreas, a partir de cada caso experimentado, se extraen aspectos específicos:

1.- Se analizó cómo el buen diseño mejora la experiencia del usuario (H1), BIOMIMÉTIC. Los resultados empíricos confirman que la incorporación de principios de diseño básico, aspectos estéticos y funcionales centrados en el usuario potencia significativamente la navegabilidad e interactividad en entornos inmersivos.

2.- Se demostró cómo estas tecnologías transforman los espacios museísticos (H2), DIFERENTS. En el contexto museístico, el MV se consolida como una herramienta inclusiva y sostenible que comienza a redefinir la mediación cultural.

3.- Se comprobó que estas tecnologías optimizan los stands comerciales reduciendo costes (H3) FERIA TÉXTIL. En el sector textil, se demostró la viabilidad técnica y económica a la hora de crear gemelos digitales para stands, mejorando la experiencia del usuario y reduciendo costes logísticos.

4.- Que enriquecen visual y conceptualmente cualquier actuación de carácter comunicacional como los actos conmemorativos mediante entornos virtuales (H4). 50 ANIVERSARIO. Se demostró el potencial de estas tecnologías para la organización de eventos conmemorativos inmersivos.

5.- Incrementan la capacidad de mejora en la transmisión de conocimiento y procesos de ensayo y aprendizaje en la industria. GEMELOS DIGITALES. Esta investigación contribuye al conocimiento

científico en diseño virtual e interacción humano-máquina, y propone líneas futuras en sectores industriales diversos, alineándose con los principios de sostenibilidad, personalización y colaboración propios de la Industria 5.0.

En definitiva, la investigación recogida en este trabajo doctoral trata de evidenciar que la integración de VR, MV y GD no solo revoluciona los procesos productivos y formativos, sino que también redefine los modelos tradicionales de interacción entre el ser humano y la tecnología. Su implementación estratégica en determinados sectores clave podría acelerar la transición hacia una industria más humana, personalizada y sostenible, en sintonía con los principios de la Industria 5.0 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

8.1. Limitaciones

A continuación, se presentan las principales limitaciones identificadas en el desarrollo de esta tesis doctoral centrada en la aplicación de la VR, el MV y los DT en el contexto de la Industria 5.0.

Limitaciones de la investigación

Selección de estímulos y escenarios virtuales

Los estudios experimentales se centraron en sectores específicos como el diseño de interiores, el ámbito museístico, el sector textil y la organización de eventos conmemorativos. Si bien cada uno de estos casos presentan aplicaciones concretas relevantes, los resultados todavía son extrapolables, pero de forma indirecta a otros sectores industriales. Puesto que, la heterogeneidad de las industrias requiere validaciones adicionales en contextos distintos, como la automoción, la biomedicina o la logística.

Composición de la muestra

La mayoría de los participantes pertenecen al entorno universitario, con edades comprendidas entre los 20 y 35 años. Esta composición limita la generalización de los resultados a otros grupos etarios o perfiles profesionales con menor familiaridad tecnológica, como operarios industriales o usuarios senior, cuya percepción e interacción con entornos inmersivos puede diferir sustancialmente.

Instrumentos de medición subjetiva

En algún experimento se han empleado cuestionarios de autoinforme para medir la experiencia y respuesta emocional del usuario. Estos instrumentos, aunque útiles, tienen un sesgo inherente de subjetividad. Es por esto que, se recomienda la incorporación de técnicas objetivas como eye-tracking, face-tracking o biometría (frecuencia cardíaca, conductancia dérmica) para que en los futuros estudios quede fortalecida la validez de los datos recogidos.

Limitaciones tecnológicas y de desarrollo

El diseño de los entornos virtuales ha estado condicionado por las capacidades del software empleado (por ejemplo, Spatial Creator Toolkit v1.60) y las prestaciones técnicas de los dispositivos de hardware disponibles. Estas limitaciones han restringido ligeramente el grado de

realismo, interacción y precisión alcanzables, lo que puede afectar potencialmente la experiencia del usuario.

Interacción física restringida

Aunque se integraron elementos de háptica pasiva en algunos ESCENARIOS EXPLICA QUÉ ES ESTO, la simulación de la interacción física con objetos virtuales continúa siendo limitada, especialmente en cuanto a la reproducción de texturas, pesos o resistencias. Esta carencia puede afectar la percepción de realismo y, por tanto, las conclusiones sobre usabilidad y experiencia del usuario.

Complejidad metodológica de los gemelos digitales

La implementación de gemelos digitales funcionales requiere modelos CAD detallados, integración con sensores IoT y una arquitectura de datos robusta. Debido a restricciones logísticas y temporales, se optó por representaciones simplificadas de gemelos digitales, lo cual limita la evaluación integral de su comportamiento en tiempo real.

Horizonte temporal de la investigación

Dado que el MV y los GD son tecnologías emergentes en rápida evolución, los hallazgos presentados pueden quedar desactualizados en el corto plazo. Por tanto, los resultados deben interpretarse dentro de un marco temporal específico, reconociendo que futuras mejoras tecnológicas podrían modificar las condiciones de aplicación y efectividad observadas.

Estas limitaciones no invalidan los hallazgos alcanzados, sino que delimitan su alcance y orientan futuras líneas de investigación necesarias para consolidar el conocimiento científico en torno a la convergencia entre realidad virtual, metaverso, gemelos digitales e Industria 5.0.

8.2. Investigaciones futuras

Seguidamente, se proponen líneas futuras de investigación en el ámbito de la VR, el MV y los DT, contextualizadas en el marco de la Industria 5.0.:

Líneas futuras de investigación

Integración de biometría y análisis emocional en entornos inmersivos

Una línea emergente consiste en incorporar tecnologías de seguimiento ocular (eye-tracking), reconocimiento facial y biometría (ritmo cardíaco, conductancia dérmica) para evaluar en tiempo real la respuesta emocional del usuario en experiencias virtuales. Esta aproximación permitiría superar las limitaciones de los cuestionarios de autoinforme y aportar mayor objetividad a los estudios sobre UX (Marshall et al., 2014; Bianchi-Berthouze, 2013). Dispositivos como el HP Reverb Omnicept G2 o Meta Quest Pro abren nuevas oportunidades en esta dirección.

Aplicación de gemelos digitales en la formación industrial y mantenimiento predictivo

Los GD pueden desempeñar un papel crucial en la capacitación técnica mediante simulaciones realistas, y en el monitoreo en tiempo real de procesos industriales, facilitando estrategias de mantenimiento predictivo (Tao et al., 2018; Grieves & Vickers, 2017). Futuros estudios pueden centrarse en modelar sistemas ciberfísicos completos que integren datos IoT con representación inmersiva para optimizar la toma de decisiones en fábricas inteligentes.

Estándares de diseño UX/UI en entornos inmersivos

Es necesario establecer marcos teóricos y prácticos sobre usabilidad, accesibilidad UX en VR y MV, adaptados a diversos sectores industriales. La creación de guías de buenas prácticas de diseño, basadas en principios cognitivos y estéticos, podría mejorar la navegabilidad y la percepción espacial del usuario (Jerald, 2015; Slater & Sanchez-Vives, 2016). Además, se requiere investigar cómo estos principios varían en función del perfil demográfico del usuario.

Museografía virtual y accesibilidad cultural

El desarrollo de museos virtuales accesibles y personalizables representa una vía prometedora para la democratización cultural. Investigaciones futuras podrían explorar cómo adaptar experiencias museísticas inmersivas a públicos con diversidad funcional, edad avanzada o en contextos educativos no formales (Economou & Meintani, 2011; Sylaiou et al., 2010). También se plantea el análisis longitudinal del impacto de estas experiencias en la memoria, el aprendizaje y el compromiso emocional del visitante.

Sostenibilidad y análisis del ciclo de vida digital

Si bien los entornos virtuales reducen costes logísticos y físicos, es fundamental investigar el impacto ambiental de las infraestructuras digitales que los sustentan. Estudios recientes sugieren evaluar el ciclo de vida digital (Digital Life Cycle Assessment, DLCA) de estas tecnologías

(Böckenkamp et al., 2022), considerando aspectos como consumo energético, emisiones y obsolescencia tecnológica.

Desarrollo de plataformas colaborativas intersectoriales en el MV

Se propone diseñar entornos MV multiusuario para el trabajo colaborativo en sectores como la arquitectura, ingeniería, diseño y educación. El enfoque colaborativo de la Industria 5.0 demanda nuevas herramientas de co-diseño e innovación abierta en espacios virtuales (Nahavandi, 2019). La evaluación del rendimiento, la comunicación y la creatividad en estos entornos constituye un área de alto interés científico.

Aplicación de VR y GD en la personalización masiva (Mass Customization)

Otra línea relevante consiste en investigar cómo estas tecnologías pueden facilitar la personalización de productos en tiempo real por parte del usuario final. La interacción directa con modelos virtuales personalizados puede reducir errores, aumentar la satisfacción del cliente y mejorar la eficiencia del proceso de diseño y fabricación (Pine II, 1993; Riedel et al., 2021).

Estas líneas de investigación no solo consolidan el conocimiento existente, sino que también proponen marcos aplicables a múltiples disciplinas, alineándose con los principios antropocéntricos, sostenibles e inteligentes de la Industria 5.0. Fomentar una aproximación interdisciplinar será clave para afrontar los desafíos tecnológicos, éticos y sociales que plantea esta nueva etapa evolutiva de la industria.

Referencias

1. Stephenson, N. Ch. 2-3. Snow Crash. 1st edition; Gigamesh Ediciones (October 20, 2022), Spain. pp. 18-35 ISBN-10 841750754X.
2. Marshall McLuhan, E. C., Chap. I - Tactile and visual communication. The classroom without walls: research on communication techniques. 1st edition; Ediciones de Cultura Popular (January 1, 1968), Spain. pp. 14-50 UNSPSC-Code 55101500.
3. Winters, T. Cap I – Who and what will power the metaverse. The Metaverse: Prepare now for the next big thing. 1st edition; Winters Media Publishing (August 14, 2021), English, pp. 10-45. ISBN-10 1913666999.
4. Rijmenam, M. Chapter 1: The Future is Immersive. Step into the Metaverse: How the immersive internet will unlock a trillion-dollar social economy. 1st edition; Winters Media Publishing (May 20, 2022), English. pp. 15-40. ISBN-10 1119887577.
5. Fink, C. Chapter 3 - The augmented man. Charlie Fink's Metaverse – An AR enabled guide to AR&VR. First edition; Kindle Publishing (January 8, 2018), English. pp. 22-30. UNSPSC-Code 55101505.
6. Schlemmer, E. Chapter 3 – The Metaverse: 3D Digital Virtual Words. Learning in Metaverses: Co-existing in real virtuality. 1st edition; IGI Global Editorial (December 29, 2014), English. pp. 48-82. ISBN-10 1466663510.
7. Acevedo Nieto, Javier (2022) «Una introducción al metaverso: conceptualización y alcance de un universo online», ad Comunica, Revista Científica de Estrategias, Tendencias e Innovación en Comunicación, 24: 41-56. Disponible en <https://www.e-revistas.uji.es/index.php/adcomunica/article/download/6544/7174/> [Fecha de consulta 15/05/2024]
8. Aparicio Gómez, Óscar; Ostos Ortiz, Olga y José Gabriel Mesa Angulo (2022) «La convergencia de aprendizajes en el metaverso», Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía, 15 (2): 385-398. Disponible en <https://doi.org/10.15332/25005421.7879> [Fecha de consulta 14/04/2024]
9. Ball, Matthew (2022) El metaverso y cómo lo revolucionará todo, Madrid: Editorial Deusto.
10. Crespo-Pereira, Verónica; Sánchez-Amboage, Eva y Matías Membiela-Pollán (2023) «Retos del metaverso: una revisión sistemática de la bibliografía desde las Ciencias Sociales, el Marketing y la Comunicación» Profesional de la información, 32 (1): e320102. Disponible en <https://doi.org/10.3145/epi.2023.ene.02> [Fecha de consulta 20/5/2024]
11. Da Silva Costa, Condornet (2022) «El metaverso y los museos» Metaverso Audiovisual. Disponible en <https://www.metaversoaudiovisual.com/el-metaverso-y-los-museos/> [Fecha de consulta 13/02/2024]
12. Eve Museos e Innovación. Disponible en <https://evemuseografia.com/> [Fecha de consulta 12/02/2024]
13. <https://www.spatial.io/s/EP5A-65bb43c9c2bf193e01b263c8?share=0>
14. Hutson, James y Piper Hutson (2023) «Museums and the Metaverse: Emerging Technologies to Promote Inclusivity and Engagement», en Zupcán, Ladislav (ed.) (2023) Application of

- Modern Trends in Museums, 1-20. Editorial InTech Open. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.110044> Fecha de consulta 4/04/2024]
15. Kim, Sangyun (2022). El metaverso. Un viaje hacia la tierra digital, Madrid: Editorial Anaya.
 16. López-Belmonte, Jesús; Pozo-Sánchez, Santiago y Antonio-José Moreno-Guerrero (2023) «Metaverso en Educación: una revisión sistemática», Revista de educación a distancia, 23 (73). Disponible en <https://doi.org/10.6018/red.511421> [Fecha de consulta 20/03/2024]
 17. Martín Ramallal, Pablo; Sabater-Wasaldúa, Jesús y Mercedes Ruiz-Mondaza (2022) «Metaversos y mundos digitales, una alternativa a la transferencia del conocimiento: el caso off-2020», Fonseca. Journal of Communication, 24: 87–107. Disponible en <https://doi.org/10.14201/fjc.28287> [Fecha de consulta 24/03/2024]
 18. Martín-Albo, Manuel (2021). «Las tecnologías que revolucionarán nuestra vida y que son una oportunidad de inversión», Bolsamanía. Disponible en bit.ly/4279XPA [Fecha de consulta 18/03/2024]
 19. Martín-Blas, Edgar. (2022). Metaverso. Pioneros en un viaje más allá de la realidad, Madrid: lid Editorial.
 20. Martínez Peláez, Agustí; Nuñez De Prado Clavell, Sara y Javier Rodríguez Abengózar (2023) «El Museo Virtual URJC, un patrimonio de la universidad en el metaverso como modelo de mediación entre artistas y coleccionistas», I Congreso de Arte y Contexto Social. Disponible en: <https://arteycontexto.org/ponencia/el-museo-virtual-urjc-un-patrimonio-de-la-universidad-en-el-metaverso-como-modelo-de-mediacion-entre-artistas-y-coleccionistas/> [Fecha de consulta 2/03/2024]
 21. Moheno Gatón, Alejandro (2022) «El metaverso en el proceso de enseñanza-aprendizaje: la interpretación de la torre del homenaje del castillo de Montilla», [Tesis de Doctorado, Universidad de Córdoba]. Repositorio de la Universidad de Córdoba. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=312669> [Fecha de consulta 20/03/2024]
 22. Museo Bombas Gens. Centre d'Arts Digitals, València. <https://bombasgens.com/es/bombas-gens-centre-darts-digital/>
 23. Museo de Arte Metropolitano, met (2023) Réplica. Verizon, The Met, Roblox, Unit9 y Ode to Joy. <https://www.reasonwhy.es/actualidad/museo-met-aplicacion-replica-roblox-experiencia-realidad-aumentada>).
 24. Museo de Bellas Artes de Gran Canaria. Sala Metaverso Isla de Arte. <https://salametaverso.grancanariaisladearte.com/>
 25. Museo Metaverso upv. Campus Alcoi.
 26. Ordoñez Valencia, Maylee Lisbeth et al. (2022) «Análisis de herramientas del metaverso y su impacto en contextos educativos», Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies, 3 (2): 610–630. Disponible en <https://journals.sapienzaeditorial.com/index.php/SIJS/article/download/366/237> [Fecha de consulta 25/03/2024]
 27. Ortega-Rodríguez, Javier (2022) «De la realidad extendida al metaverso: una reflexión crítica sobre las aportaciones a la educación», Teoría de la Educación. Revista interuniversitaria, 34 (2): 189-208. Disponible en <https://doi.org/10.14201/teri.27864> [Fecha de consulta 5/02/2024]

28. Paredes Otero, Guillermo (2023) «El estudio del metaverso en tiempos de pandemia. Revisión de la literatura científica sobre la última frontera digital», *Ámbitos. Revista Internacional de Comunicación*, 61: 132-148. Disponible en <https://doi.org/10.12795/Ambitos.2023.i61> [Fecha de consulta 10/05/2024]
29. Ramírez-Herrero, Virginia; Ortíz de Urbina Criado, Marta y José Amelio Medina-Merodio (2023) «La revolución del metaverso: análisis crítico de sus luces y sombras», *Esic Market* 54 (3): e334. Disponible en <https://doi.org/10.7200/esicm.54.334> [Fecha de consulta 1/02/2024]
30. Sánchez, Juan Antonio (2022) *Nuevas perspectivas en museología*, Madrid: Editorial Universitaria.
31. Villaespesa, Elena y Vanesa Domínguez (eds.) (2015) *El papel de la tecnología en el Museo*, Madrid: Editorial Museo del Prado.
32. Remolar, I.; Chover, M.; Quirós, R.; Gumbau, J.; Ramos, F.; Castello, P.; Rebollo, C. Virtual Trade Fair: A Multiuser 3D Virtual World for Business. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Cyberworlds*, Singapore, 20–22 October 2010; Volume 75, pp. 208–214.
33. Remolar, I.; Chover, M.; Quirós, R.; Gumbau, J.; Castelló, P.; Rebollo, C.; Ramos, J.F. Design of a Multiuser Virtual Trade Fair Using a Game Engine. *Trans. Comput. Sci.* 2011, 12, 118–139.
34. Buhalis, D.; Lin, M.S.; Leung, D. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: Implications for hospitality and tourism management and marketing. *Int. J. Contemp. Hosp. Manag.* 2023, 35, 701–716.
35. Shukla, V.; Rana, S.; Prashar, S. Examining the potential of virtual and augmented reality in enhancing tourism experiences. *Bottom Line* 2024, ahead-of-print.
36. Basheer, S.; Walia, S.; Mehraj, D.; Farooq, S.; Reshi, M.A. Exploring the Intersection of Tourism, Artificial Intelligence and Travel: The Rise of the Metaverse and Its Implications. In *New Perspectives in Tourism and Hospitality Management*; Emerald Publishing Limited: Leeds, UK, 2024; pp. 71–83.
37. Triviño-Tarradas, P.; Mohedo-Gatón, A.; Carranza-Cañadas, P.; Hidalgo-Fernandez, R.E. The Application of Metaverse in the Tourism Sector as a Tool for Enhancing Sustainability—Case Study: A Medieval ‘Perfume Burner’ of the Local Historical Museum of Montilla (Cordoba, Spain). *Sustainability* 2024, 16, 6966.
38. Özdemir Uçgun, G. The Effects of Metaverse on the Tourism Industry. *J. Metaverse* 2023, 4, 71–83.
39. Martí-Testón, A.; Muñoz, A.; Gracia, L.; Solanes, J.E. Using WebXR Metaverse Platforms to Create Touristic Services and Cultural Promotion. *Appl. Sci.* 2023, 13, 8544.
40. Zaman, M.; Hasan, P.R.; Vo-Thanh, T.; Shams, R.; Rahman, M.; Jasim, K.M. Adopting the metaverse in the luxury hotel business: A cost–benefit perspective. *Int. J. Contemp. Hosp. Manag.* 2024, ahead-of-print.
41. Erdem, A.; Barakazi, M. Innovative Technology Applications in Hotel Businesses. In *Digital Transformation of the Hotel Industry: Tourism, Hospitality and Event Management*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2023.

42. Karagoz Zeren, S. The Tourism Sector in Metaverse: Virtual Hotel and Applications. In *Metaverse, Studies in Big Data*; Springer: Singapore, 2023; Volume 133.
43. Bilgihan, A.; Ricci, P. The new era of hotel marketing: Integrating cutting-edge technologies with core marketing principles. *J.Hosp. Tour. Technol.* 2024, 15, 123–137.
44. Muhammad Sohail Jafar, R.; Ahmad, W.; Chen, Y. Metaverse in Human Behavior: The Role of Telepresence and Flow Experience on Consumers' Shopping Behavior in the Metaverse. *Sage Open* 2024, 14, 21582440241261256.
45. Barrera, K.G.; Shah, D. Marketing in the Metaverse: Conceptual understanding, framework, and research agenda. *J. Bus. Res.* 2024, 155, 113420.
46. Ramadan, Z. Marketing in the metaverse era: Toward an integrative channel approach. *Virtual Real.* 2023, 27, 1905–1918.
47. Rahman, S.M.; Chowdhury, N.H.; Bowden, J.L.; Carlson, J. Metaverse platform attributes and customer experience measurement. *J. Retail. Consum. Serv.* 2025, 83, 104159.
48. Kumar, H. Virtual worlds, real opportunities: A review of marketing in the metaverse. *Acta Psychol.* 2024, 250, 104517.
49. Aiolfi, S.; Luceri, B. See you on the Metaverse: A bibliometric expedition through the Metaverse landscape. *Technol. Forecast. Soc. Change* 2024, 207, 123605.
50. Dwivedi, Y.K.; Hughes, L.; Wang, Y.; Alalwan, A.A.; Ahn, S.J.; Balakrishnan, J.; Barta, S.; Belk, R.; Buhalis, D.; Dutot, V.; et al. Metaverse marketing: How the metaverse will shape the future of consumer research and practice. *Psychol. Mark.* 2023, 12, 750–776.
51. Yoo, K.; Welden, R.; Hewett, K.; Haenlein, M. The merchants of meta: A research agenda to understand the future of retailing in the metaverse. *J. Retail.* 2023, 99, 173–192.
52. Sužiedelyte Visockiene, J.; Tumeliere, E.; Kalinka, M.; Erin, Š, I.; Vaivode, V.; Goldbergs, L.; Korna, I.; Smirnovs, R.; Gorovojs, K. 3D spatial data for building management case study. In *Proceedings of the 12th International Conference "Environmental Engineering" (ICEE-2023)*, Vilnius, Lithuania, 27–28 April 2023.
53. Angeletti, E.; Gaiani, M.; Palermo, R.; Garagnani, S. Beyond the physical exhibit: Enhancing, showcasing and safeguarding fashion heritage with VR technologies. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.* 2024, 32, e00314.
54. Abdikarim, D.; Di Luca, M.; Aves, P.; Maaroufi, M.; Yeo, S.H.; Miall, R.C.; Holland, P.; Galea, J.M. A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2. *Behav. Res.* 2024, 56, 1052–1063.
55. Tam, F.Y.; Lung, J. Luxury fashion brands in metaverse retailing—A review of literature and practice. *Foresight* 2024, ahead-of-print.
56. Dwivedi, Y.K.; Hughes, L.; Baabdullah, A.M.; Ribeiro-Navarrete, S.; Giannakis, M.; Al-Debei, M.M.; Dennehy, D.; Metri, B.; Buhalis, D.; Cheung, C.M.K.; et al. Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities; agenda for research, practice; policy. *Int. J. Inf. Manag.* 2022, 66, 102542.
57. Travassos, A.; Rosa, P.; Sales, F. Influencer Marketing Applications Within the Metaverse. *Influ. Mark. Digit. Ecosyst.* 2023, 82, 117–131.

58. Payal, R.; Sharma, N.; Dwivedi, Y.K. Unlocking the impact of brand engagement in the metaverse on Real-World purchase intentions: Analyzing Pre-Adoption behavior in a futuristic technology platform. *Electron. Commer. Res. Appl.* 2024, 65, 101381.
59. Ki, C.; Chong, S.; Aw, E.; Lam, M.; Wong, C. Metaverse consumer behavior: Investigating factors driving consumer participation in the transitory metaverse, avatar personalization, and digital fashion adoption. *J. Retail. Consum. Serv.* 2024, 82, 104094.
60. Xu, M.; Niyato, D.; Kang, J.; Xiong, Z.; Miao, C.; Kim, D.I. Wireless Edge-Empowered Metaverse: A Learning-Based Incentive Mechanism for Virtual Reality. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, Seoul, Republic of Korea, 16–20 May 2022.
61. Bian, Y.; Leng, J.; Zhao, J. Demystifying Metaverse as a New Paradigm of Enterprise Digitization. In *Big Data—BigData 2021*; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 109–119.
62. Jeong, H.; Yi, Y.; Kim, D. An innovate E-commerce platform incorporating metaverse to live commerce. *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control* 2022, 18, 221–229.
63. Lee, H.; Hwang, Y. Technology-Enhanced Education through VR-Making and Metaverse-Linking to Foster Teacher Readiness and Sustainable Learning. *Sustainability* 2022, 14, 4786.
64. Al-Ghaili, A.; Kasim, H.; Al-Hada, N.M.; Hassan, Z.; Othman, M.; Tharik, J.H.; Kasmani, R.; Shaye, I. A Review of Metaverse's Definitions, Architecture, Applications, Challenges, Issues, Solutions, and Future Trends. *IEEE Access* 2022, 10, 125835–125866.
65. Shim, B.K.; Seo, J.Y.; Na, K.Y.; Lee, D.Y.; Moon, M.H.; Lim, Y.K. Study on Software Proposals for Optimization of Augmented Reality Glasses. *Commun. Comput. Inf. Sci.* 2022, 1654, 580–586.
66. Rospigliosi, P. Metaverse or Simulacra? Roblox, Minecraft, Meta and the turn to virtual reality for education, socialisation and work. *Routledge* 2022, 30, 1–3.
67. Aloqaily, M.; Bouachir, O.; Karray, F.; Al Ridhawi, I.; El Saddik, A. Integrating Digital Twin and Advanced Intelligent Technologies to Realize the Metaverse. *IEEE Consum. Electron. Mag.* 2022, 12, 47–55.
68. Hassanien, A.E.; Darwish, A.; Torky, M. *The Future of Metaverse in the Virtual Era and Physical World*; Springer: Cham, Switzerland, 2023.
69. Huynh-The, T.; Pham, Q.V.; Pham, X.Q. Nguyen, T.T.; Han, T.; Kim, D.S. Artificial intelligence for the metaverse: A survey. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2023, 117, 105581.
70. Li, K.; Cui, Y.; Li, W.; Lv, T.; Yuan, X.; Li, S.; Ni, W.; Simsek, M.; Dressler, F. When Internet of Things Meets Metaverse: Convergence of Physical and Cyber Worlds. *IEEE Internet Things J.* 2023, 10, 4148–4173.
71. Ritterbusch, G.D.; Teichmann, M.R. Defining the Metaverse: A Systematic Literature Review. *IEEE Access* 2023, 11, 12368–12377.
72. Induji, R.T.; Somasundari, K.M.; VinothKumar, K.R.; Swapna, S.; Brindha, S.; Kumar, S.K. Entry of the Metaverse in Human Resource Management: A Paradigm Shift in Workplace Dynamics. In *Anticipating Future Business Trends: Navigating Artificial Intelligence Innovations. Studies in Systems, Decision and Control*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2024; Volume 535.

73. Pache de Faria, C.; Norogrande, R. Digitization Project of Museum Collections as a Way of Preserving Memory and Cultural Heritage. In *Advances in Design and Digital Communication IV. DIGICOM 2023*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2024; Volume 35.
74. Shen, B.; Tan, W.; Guo, J.; Zhao, L.; Qin, P. How to Promote User Purchase in Metaverse? A Systematic Literature Review on Consumer Behavior Research and Virtual Commerce Application Design. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11087.
75. Sriworapong, S.; Pyae, A.; Thirasawasd, A.; Keereewan, W. Investigating Students' Engagement, Enjoyment, and Sociability in Virtual Reality-Based Systems: A Comparative Usability Study of Spatial.io, Gather.town, and Zoom. *Well-Being in the Information Society: When the Mind Breaks. WIS 2022. Communications in Computer and Information Science*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2022; Volume 1626.
76. Luo, D.; Zhang, T.; He, S.; Sun, W.; Sun, X. Research on the Metaverse Model of a University Based on Unity. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Computer and Multimedia Technology*, Sanming, China, 24–26 May 2024.
77. Schubert, T.; Friedmann, F.; Regenbrecht, H. The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. *Presence Teleoperators Virtual Environ.* 2001, 10, 266–281.
78. Brooke, J. "SUS-A Quick and Dirty Usability Scale." *Usability Evaluation in Industry*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1996; ISBN 9780748404605.
79. Zhang, X.; Chen, L.; Zhao, Y. Between Mountains and Rivers, Reality and Virtuality: Empowering Traditional Intangible Cultural Heritage Plant-Dye Apparel Design and Display Through Virtual Digital Technology. In *HCI International 2024 Posters; HCII 2024; Communications in Computer and Information Science*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2024; Volume 2116.
80. Halim, N.A.A.; Ismail, A.W. Comparison on the Metaverse Space Development in Spatial. io Platform and Monaverse Platform. In *Applied Soft Computing and Communication Networks*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2024; Volume 966.
81. Flavián, C.; Ibáñez-Sánchez, S.; Orús, C.; Barta, S. The dark side of the metaverse: The role of gamification in event virtualization. *Int. J. Inf. Manag.* 2024, 75, 102726.
82. Gallist, N.; Hagler, J. Tourism in the Metaverse: Digital Twin of a City in the Alps. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, Vienna, Austria, 3–6 December 2024; pp. 568–570.
83. Dang Quan, T.; Wei-Han Tan, G.; Aw, E.C.-X.; Cham, T.-H.; Basu, S.; Ooi, K.-B. Can you resist the virtual temptations? Unveiling impulsive buying in metaverse retail. *Asia Pac. J. Mark. Logist.* 2024, 36, 2259–2280.
84. Gleim, M.R.; McCullough, H.; Gabler, C.; Ferrell, L.; Ferrell, O.C. Examining the customer experience in the metaverse retail revolution. *J. Bus. Res.* 2025, 186, 115045.
85. Gallery, C.; Conlon, J. *Fashion Business and Digital Transformation: Technology and Innovation across the Fashion Industry*; Routledge: London, UK, 2024.
86. Zhao, R.; Zhang, Y.; Zhu, Y.; Lan, R.; Hua, Z. Metaverse: Security and Privacy Concerns. *J. Metaverse* 2023, 3, 93–99.
87. Kalyvaki, M. Navigating the Metaverse Business and Legal Challenges: Intellectual Property, Privacy, and Jurisdiction. *J. Metaverse* 2023, 3, 87–92.

88. Wang, Y.; Su, Z.; Zhang, N.; Xing, R.; Liu, D.; Luan, T.H.; Shen, X. DA Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 2024, 25, 319–352.
89. Alcántara, J.C.; Tasic, I.; Cano, M.-D. Enhancing Digital Identity: Evaluating Avatar Creation Tools and Privacy Challenges for the Metaverse. *Information* 2024, 15, 624.
90. De Brito, G.; Scheltes, D.; Durval, A.; Aragão, J.; Santos, S.E.; Lima, C. Soussa, M.; Winkler, I. Developing an University Immersive Campus: Guidelines for Beginner Developers. *Assoc. Comput. Mach.* 2024, 1, 261–265.
91. Buhalis, D.; Lin, M.S.; Leung, D. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: implications for hospitality and tourism management and marketing. 621 *International Journal of Contemporary Hospitality Management* 2023, Vol. 35 No. 2, 701–716 <https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2022-0631>
92. AbdIkrim, D., Di Luca, M., Aves, P. et al. A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2. *Behav Res* 2024, Vol. 56, 1052–1063. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-02051-8>
93. Remolar, I.; Chover, M.; Quirós, R.; Gumbau, J.; Castelló, P.; Rebollo, C.; Ramos, J. F. Design of a Multiuser Virtual Trade Fair Using a Game Engine. *Transactions on Computational Science* 2011, Vol.12. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-22336-5_7
94. Ramadan, Z. Marketing in the metaverse era: toward an integrative channel approach. *Virtual Reality* 2023, Vol. 27, 1905–1918. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00783-2>
95. Travassos, A.; Rosa, P.; Sales, F. Influencer Marketing Applications Within the Metaverse. *Influencer Marketing in the Digital Ecosystem* 2023 Vol. 82, 117–131. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8898-0.ch008>
96. Ki, C.; Chong, S.; Aw, E.; Lam, M.; Wong, C. Metaverse consumer behavior: Investigating factors driving consumer participation in the transitory metaverse, avatar personalization, and digital fashion adoption. *Journal of Retailing and Consumer Services* 2024, Vol. 82. 707 <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.104094>
97. Gallist, N.; Hagler, J. Tourism in the Metaverse: Digital Twin of a City in the Alps. MUM '23: Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia 2024, , 568–570. <https://doi.org/10.1145/3626705.3631880>
98. Schubert, T.; Friedmann, F.; Regenbrecht, H. The Experience of Presence: Factor Analytic 758 Insights. *Presence Teleoperators Virtual Environ.* 2001, 10, 266–281.
99. Brooke, J. "SUS-A Quick and Dirty Usability Scale." *Usability Evaluation in Industry*; CRC 760 Press: Boca Raton, FL, USA, 1996; ISBN 9780748404605.
100. Sim, J.K.; Xu, K.W.; Jin, Y.; Lee, Z.Y.; Teo, Y.J.; Mohan, P.; Huang, L.; Xie, Y.; Li, S.; Liang, N.; et al. *Designing an Educational Metaverse: A Case Study of NTU Universe. Appl. Sci.* **2024**, 14, 2559. <https://doi.org/10.3390/app14062559>
101. Shanthalakshmi Revathy, J., and J. Mangaiyarkkarasi. "Integration of Metaverse and Machine Learning in the Education Sector." *Impact and Potential of Machine Learning in the Metaverse*, edited by Shilpa Mehta, et al., IGI Global, 2024, pp. 74-99. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5762-0.ch004>

102. Yun, S.-J.; Kwon, J.-W.; Lee, Y.-H.; Kim, J.-H.; Kim, W.-T. A Learner-Centric Explainable Educational Metaverse for Cyber–Physical Systems Engineering. *Electronics* 2024, 13, 3359. <https://doi.org/10.3390/electronics13173359>
103. Nleya, S.M.; Velempini, M. Industrial Metaverse: A Comprehensive Review, Environmental Impact, and Challenges. *Appl. Sci.* **2024**, 14, 5736. <https://doi.org/10.3390/app14135736>
104. Dhanda M., Rogers,B.A.; Hall,S.; Dekoninck,E.; Dhokia,V.; Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: Opportunities and challenges in the context of industry 5.0, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 93,2025,102937,ISSN 0736-5845, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937>
105. Dayoub, Bashar, Peifeng Yang, Sarah Omran, Qiuyi Zhang, and Alaa Dayoub. 2024. "Digital Silk Roads: Leveraging the Metaverse for Cultural Tourism within the Belt and Road Initiative Framework" *Electronics* 13, no. 12: 2306. <https://doi.org/10.3390/electronics13122306>
106. Buhalis, D.; Lin, M.S.; Leung, D. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: implications for hospitality and tourism management and marketing. 621 *International Journal of Contemporary Hospitality Management* 2023, Vol. 35 No. 2, 701–716 <https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2022-0631>
107. WANG Xuewei, YU Xiaokun. Current situation and development in applying metaverse virtual space in field of fashion[J].*Journal of Textile Research*, 2024, 45(04): 238-245. [DOI 10.13475/j.fzxb.20230300202](https://doi.org/10.13475/j.fzxb.20230300202)
108. Wu, Ronghui, Lin Gao, Hyemin Lee, Junping Xu, and Younghwan Pan. 2024. "A Study of the Key Factors Influencing Young Users' Continued Use of the Digital Twin-Enhanced Metaverse Museum" *Electronics* 13, no. 12: 2303. <https://doi.org/10.3390/electronics13122303>
109. Omar Hashash and Christina Chaccour and Walid Saad and Kei Sakaguchi and Tao Yu (2022). Towards a Decentralized Metaverse: Synchronized Orchestration of Digital Twins and Sub-Metaverses. <https://arxiv.org/abs/2211.14686>
110. S. K. Jagatheesaperumal et al., "Semantic-Aware Digital Twin for Metaverse: A Comprehensive Review," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 30, no. 4, pp. 38-46, August 2023, [doi: 10.1109/MWC.003.2200616](https://doi.org/10.1109/MWC.003.2200616).
111. Nyothiri Aung, Sahraoui Dhelim, Huansheng Ning, et al. Web3-enabled Metaverse: The Internet of Digital Twins in a Decentralised Metaverse. *TechRxiv*. January 02, 2024. DOI: [10.36227/techrxiv.170421448.84658585/v1](https://doi.org/10.36227/techrxiv.170421448.84658585/v1)
112. Grieves, M., Hua, E.Y. (2024). Defining, Exploring, and Simulating the Digital Twin Metaverses. In: Grieves, M., Hua, E.Y. (eds) *Digital Twins, Simulation, and the Metaverse. Simulation Foundations, Methods and Applications*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69107-2_1
113. Muhammad Adnan, Ijaz Ahmed, Sajid Iqbal, Muhammad Rayyan Fazal, Sadia Jabeen Siddiqi, Muhammad Tariq (2024) Exploring the convergence of Metaverse, Blockchain, Artificial Intelligence, and digital twin for pioneering the digitization in the envision smart grid 3.0, *Computers and Electrical Engineering*, Volume 120, Part B, 109709, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109709>
114. Cruz, Mónica, and Abílio Oliveira. 2024. "Where Are We Now?—Exploring the Metaverse Representations to Find Digital Twins" *Electronics* 13, no. 10: 1984. <https://doi.org/10.3390/electronics13101984>

115. HE Xing, CHEN Minyu, TANG Yuezhong, AI Qian, ZHANG Dongxia. System Theory Study on Situation Awareness of Energy Internet of Things Based on Digital Twins and Metaverse (I): Concept, Challenge, and Framework[J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(2): 547-560. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.222413](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.222413)
116. [Deng, B.](#), [Wong, I.A.](#) and [Lian, Q.L.](#) (2024), "From metaverse experience to physical travel: the role of the digital twin in metaverse design", [Tourism Review](#), Vol. 79 No. 5, pp. 1076-1087. <https://doi.org/10.1108/TR-05-2023-0315>
117. P. Kruachottiku, G. Phanomchoeng, N. Cooharajanane, K. Kovitanggoon and P. Teamakorn, "ChulaVerse: University Metaverse Service Application Using Open Innovation with Industry Partners," 2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, Singapore, 2023, pp. 0294-0299, doi: [10.1109/IEEM58616.2023.10406567](https://doi.org/10.1109/IEEM58616.2023.10406567).
118. Kirill Shatilov, Ahmad Alhilal, Tristan Braud, Lik-Hang Lee, Pengyuan Zhou, and Pan Hui. 2023. Players are not Ready 101: A Tutorial on Organising Mixed-mode Events in the Metaverse. In Proceedings of the First Workshop on Metaverse Systems and Applications (MetaSys '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 14–20. <https://doi.org/10.1145/3597063.3597360>
119. MELIANDE, Rodrigo; RIBEIRO, Ailton; AROUCA, Murilo Guerreiro; AMORIM, Ana Maria; PESTANA, Maria Clara; VIEIRA, Vaninha. Meta-Education: A Case Study in Academic Events in the Metaverse. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS COLABORATIVOS (SBSC), 19. , 2024, Salvador/BA. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024 . p. 28-41. ISSN 2326-2842. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbbsc.2024.238057>.
120. Price, Jeffrey, Hamida Khatri, Chris Gauthier, Brandon Coffey and Jacqueline Garza. "Building a University Digital Twin." 2024 IEEE International Symposium on Emerging Metaverse (ISEMV) (2024): 17-20. <https://doi.org/10.1109/ISEMV63338.2024.00018>
121. Sim, Jing Kai, Kaichao William Xu, Yuyang Jin, Zhi Yu Lee, Yi Jie Teo, Pallavi Mohan, Lihui Huang, Yuan Xie, Siyi Li, Nanyang Liang, and et al. 2024. "Designing an Educational Metaverse: A Case Study of NTU Universe" Applied Sciences 14, no. 6: 2559. <https://doi.org/10.3390/app14062559>
122. Sim, J.K.; Xu, K.W.; Jin, Y.; Lee, Z.Y.; Teo, Y.J.; Mohan, P.; Huang, L.; Xie, Y.; Li, S.; Liang, N.; et al. Designing an Educational Metaverse: A Case Study of NTU Universe. Appl. Sci. 2024, 14, 2559. <https://doi.org/10.3390/app14062559>
123. Shanthalakshmi Revathy, J., and J. Mangaiyarkkarasi. "Integration of Metaverse and Machine Learning in the Education Sector." Impact and Potential of Machine Learning in the Metaverse, edited by Shilpa Mehta, et al., IGI Global, 2024, pp. 74-99. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5762-0.ch004>
124. Yun, S.-J.; Kwon, J.-W.; Lee, Y.-H.; Kim, J.-H.; Kim, W.-T. A Learner-Centric Explainable Educational Metaverse for Cyber-Physical Systems Engineering. Electronics 2024, 13, 3359. <https://doi.org/10.3390/electronics13173359>
125. S. Sai, M. Prasad, A. Garg and V. Chamola, "Synergizing Digital Twins and Metaverse for Consumer Health: A Case Study Approach," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 70, no. 1, pp. 2137-2144, Feb. 2024, doi: [10.1109/TCE.2024.3367929](https://doi.org/10.1109/TCE.2024.3367929)
126. Fei Tao, Meng Zhang, A.Y.C. Nee (2019) Digital Twin Driven Smart Manufacturing,

Academic Press, Page iv, ISBN 9780128176306, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817630-6.00014-X>.

127. Dmytro Adamenko, Steffen Kunnen, Robin Pluhnau, André Loibl, Arun Nagarajah. (2020) Review and comparison of the methods of designing the Digital Twin, *Procedia CIRP*, Volume 91, Pages 27-32, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.146>.
128. Hosseini, Shimasadat and Abbasi, Ali and Magalhaes, Luis G. and Fonseca, Jaime C. and da Costa, Nuno M.C. and Moreira, Antonio H.J. and Borges, Joao (2024). Immersive Interaction in Digital Factory: Metaverse in Manufacturing. Elsevier Science Publishers B. V. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.050>
129. Shimasadat Hosseini, Ali Abbasi, Luis G. Magalhaes, Jaime C. Fonseca, Nuno M.C. da Costa, António H.J. Moreira, and João Borges. 2024. Immersive Interaction in Digital Factory: Metaverse in Manufacturing. *Procedia Comput. Sci.* 232, C (2024), 2310–2320. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.050>
130. Abdikarim, D., Di Luca, M., Aves, P. et al. A methodological framework to assess the accuracy of virtual reality hand-tracking systems: A case study with the Meta Quest 2. *Behav Res* 2024, Vol. 56, 1052–1063. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-02051-8>
131. Xinyi Tu, Riku Ala-Laurinaho, Chao Yang, Juuso Autiosalo, Kari Tammi, Architecture for data-centric and semantic-enhanced industrial metaverse: Bridging physical factories and virtual landscape, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 74, 2024, Pages 965-979, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.05.016>
132. L. Ren et al., "Industrial Metaverse for Smart Manufacturing: Model, Architecture, and Applications," in *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 54, no. 5, pp. 2683-2695, May 2024, doi: [10.1109/TCYB.2024.3372591](https://doi.org/10.1109/TCYB.2024.3372591).
133. Patterson EA. Engineering design and the impact of digital technology from computer-aided engineering to industrial metaverses: A perspective. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. 2024;59(4):303-305. [doi:10.1177/03093247241233325](https://doi.org/10.1177/03093247241233325)
134. Kaigom, Eric; 2024. Metarobotics for Industry and Society: Vision, Technologies, and Opportunities, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol, 20, ISSN={1941-0050}, [http://dx.doi.org/10.1109/TII.2023.3337380](https://doi.org/10.1109/TII.2023.3337380)
135. T. M. Fernández-Caramés and P. Fraga-Lamas, "Forging the Industrial Metaverse for Industry 5.0: Where Extended Reality, IIoT, Opportunistic Edge Computing, and Digital Twins Meet," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 95778-95819, 2024, doi: [10.1109/ACCESS.2024.3422109](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3422109)
136. S. Sai, M. Prasad, A. Upadhyay, V. Chamola and N. Herencsar, "Confluence of Digital Twins and Metaverse for Consumer Electronics: Real World Case Studies," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 70, no. 1, pp. 3194-3203, Feb. 2024, doi: [10.1109/TCE.2024.3351441](https://doi.org/10.1109/TCE.2024.3351441)
137. Allam, Zaheer, Ayyoob Sharifi, Simon Elias Bibri, David Sydney Jones, and John Krogstie. 2022. "The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures" *Smart Cities* 5, no. 3: 771-801. <https://doi.org/10.3390/smartcities5030040>
138. H. e. Zainab and N. Z. Bawanay, "Digital Twin, Metaverse and Smart Cities in a Race to the Future," 2023 24th International Arab Conference on Information Technology (ACIT), Ajman, United Arab Emirates, 2023, pp. 1-8, doi: [10.1109/ACIT58888.2023.10453803](https://doi.org/10.1109/ACIT58888.2023.10453803).

139. Gallist, N.; Hagler, J. Tourism in the Metaverse: Digital Twin of a City in the Alps. MUM '23: Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia 2024, 568–570. <https://doi.org/10.1145/3626705.3631880>
140. Remolar, I.; Chover, M.; Quirós, R.; Gumbau, J.; Castelló, P.; Rebollo, C.; Ramos, J. F. Design of a Multiuser Virtual Trade Fair Using a Game Engine. Transactions on Computational Science 2011, Vol.12. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-22336-5_7
141. Martín Ramallal, P., Sabater-Wasaldúa, J., & Ruiz-Mondaza, M. (2022). Metaversos y mundos virtuales, una alternativa a la transferencia del conocimiento: El caso OFFF-2020. Fonseca, Journal of Communication, (24), 87–107. <https://doi.org/10.14201/fjc.28287>
142. Valaskova, K., Vochozka, M., and Lăzăroiu, G. (2022). "Immersive 3D Technologies, Spatial Computing and Visual Perception Algorithms, and Event Modeling and Forecasting Tools on Blockchain-based Metaverse Platforms," Analysis and Metaphysics 21: 74–90. <https://doi.org/10.22381/am2120225>
143. Hongyin Zhu (2022). A Metaverse Framework Based on Multi-scene Relations and Entity-relation-event Game. 2203.10424. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.10424>
144. Samarnngoon, Keattikorn, Supara Grudpan, Noppon Wongta, and Konlawat Klaynak. 2023. "Developing a Virtual World for an Open-House Event: A Metaverse Approach" Future Internet 15, no. 4: 124. <https://doi.org/10.3390/fi15040124>
145. Choi, M., Choi, Y., Nosrati, S., Hailu, T. B., & Kim, S. (Sam). (2023). Psychological dynamics in the metaverse: evaluating perceived values, attitude, and behavioral intention in metaverse events. Journal of Travel & Tourism Marketing, 40(7), 602–618. <https://doi.org/10.1080/10548408.2023.2276435>
146. Travassos, A.; Rosa, P.; Sales, F. Influencer Marketing Applications Within the Metaverse. Influencer Marketing in the Digital Ecosystem 2023 Vol. 82, 117–131. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8898-0.ch008>
147. Bonales Daimiel, Gema, y Nuria Pradilla Barrero. «Arte urbano en el metaverso: Nuevos espacios creativos». Street Art & Urban Creativity 11, n.º 1 (2025): 137-50. [doi:10.62161/sauc.v11.5686](https://doi.org/10.62161/sauc.v11.5686)
148. Rafique, Wajid and Qadir, Junaid (2024). Internet of everything meets the metaverse: Bridging physical and virtual worlds with blockchain. Elsevier Science Publishers B. V. Vol. 54. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100678>
149. He, Wei and Li, Xiang and Xu, Shengtian and Chen, Yuzheng and Sio, Chan-In and Kan, Ge Lin and Lee, Lik-Hang (2024) MetaDragonBoat: Exploring Paddling Techniques of Virtual Dragon Boating in a Metaverse Campus. Association for Computing Machinery. Isbn 9798400706868. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3664647.3681078>
150. Barta, Sergio; Ibáñez-Sánchez, Sergio; Orús, Carlos; Flavián, Carlos (2024). "Avatar creation in the metaverse: A focus on event expectations". Computers in Human Behavior. Vol 156. 108192. ISSN 0747-5632. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108192>

151. Ki, C.; Chong, S.; Aw, E.; Lam, M.; Wong, C. Metaverse consumer behavior: Investigating factors driving consumer participation in the transitory metaverse, avatar personalization, and digital fashion adoption. *Journal of Retailing and Consumer Services* 2024, Vol. 82. 707 <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.104094>
152. Lau, J. X., Ch'ng, C. B., Bi, X., & Chan, J. H. (2024). EXPLORING ATTITUDES OF GEN Z TOWARDS METAVERSE IN EVENTS INDUSTRY. *International Journal of Sustainable Competitiveness on Tourism*, 3(01), 49–53. <https://doi.org/10.34013/ijscot.v3i01.1484>
153. Nesaif, B. M. R. B. . (2024). The Influence of Virtual Events on Metaverse Commercial Real Estate Values: A Review. *International Journal of Business Strategies*, 9(1), 31–48. <https://doi.org/10.47672/ijbs.1799>
154. Lo, Fang-ying; Su, Chien-Yuan; Chen, Cheng-Huan (2024). Identifying Factor Associations Emerging from an Academic Metaverse Event for Scholars in a Postpandemic World: Social Presence and Technology Self-Efficacy in Gather.Town. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. Vol 27. ary Ann Liebert, Inc., publishers. [doi: 10.1089/cyber.2023.0020](https://doi.org/10.1089/cyber.2023.0020)
155. Flavián, Carlos; Ibáñez-Sánchez, Sergio; Orús, Carlos and Barta, Sergio (2024). “The dark side of the metaverse: The role of gamification in event virtualization”. *International Journal of Information Management*. Vol. 75. 102726, ISSN 0268-4012. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102726>
156. Singh, Sujay Vikram, et al. "Role of Metaverse in Events Industry: An Empirical Approach." In *New Technologies in Virtual and Hybrid Events*, edited by Sharad Kumar Kulshreshtha and Craig Webster, 165-184. Hershey, PA: IGI Global, 2024. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2272-7.ch009>
157. Mencarini, Eleonora and Rapp, Amon and Colley, Ashley and Daiber, Florian and Jones, Michael D. and Kosmalla, Felix and Lukosch, Stephan and Niess, Jasmin and Niforatos, Evangelos and Wozniak, Pawel W. and Zancanaro, Massimo. (2022). *New Trends in HCI and Sports*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3528575.3551426>
158. Chen, S. S., & Zhang, J. J. (2024). Market demand for metaverse-based sporting events: a mixed-methods approach. *Sport Management Review*, 28(1), 121–147. <https://doi.org/10.1080/14413523.2024.2401640>
159. Dolğun, Onur Can, Volkan Gökören, Hakan Güler, Halime Dinç, ve Metin Argan. “Immersion In Metaverse Event Experience: A Grounded Theory”. *Sportive* 7, sy. 2 (Ekim 2024): 288-307. <https://doi.org/10.53025/sportive.1526592>
160. Kumari, Vandana; Bala, Pradip Kumar; Chakraborty, Shibashish (2024). A text mining approach to explore factors influencing consumer intention to use metaverse platform services: Insights from online customer reviews. *Journal of Retailing and Consumer Services*. Vol 81. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103967>
161. Manuel B. Garcia, Clievenze Karl Quejado, Clark Raven B. Maranan, Owen N. Ualat, and Rossana T. Adao. 2024. Valentine's Day in the Metaverse: Examining School Event Celebrations in Virtual Worlds Using an Appreciative Inquiry Approach. In *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Education and Multimedia Technology (ICEMT '24)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 22–29. <https://doi.org/10.1145/3678726.3678739>
162. Ramadan, Z. Marketing in the metaverse era: toward an integrative channel approach. *Virtual Reality* 2023, Vol. 27, 1905–1918. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00783-2>

163. Sahdev, Supriya Lamba, et al. "An Analysis on the Future Usage of Metaverse in the Marketing Event Industry in India: An ISM Approach." In *New Technologies in Virtual and Hybrid Events*, edited by Sharad Kumar Kulshreshtha and Craig Webster, 147-164. Hershey, PA: IGI Global, 2024. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2272-7.ch008>
164. Flores-Castañeda, R. O., Olaya-Cotera, S., & Iparraguirre-Villanueva, O. (2024). Benefits of Metaverse Application in Education: A Systematic Review. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 14(1), pp. 61–81. <https://online-journals.org/index.php/i-jep/article/view/42421>
165. Nleya, S.M.; Velepini, M. Industrial Metaverse: A Comprehensive Review, *Environmental Impact, and Challenges*. *Appl. Sci.* 2024, 14, 5736. <https://doi.org/10.3390/app14135736>
166. Dhanda M., Rogers,B.A.; Hall,S.; Dekoninck,E.; Dhokia,V.; Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: Opportunities and challenges in the context of industry 5.0, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 93,2025,102937,ISSN 0736-5845, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937>
167. Li, Z., & Jia, L. (2025). Bridging the Virtual and the Real: The Impact of Metaverse Sports Event Characteristics on Event Marketing Communication Effectiveness. *Communication & Sport*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/21674795251321754>
168. Kumar, Atul. "The Metaverse Touchdown Revolutionizing Sporting Events." *Internationalization of Sport Events Through Branding Opportunities*, edited by Jaskirat Singh Rai, et al., IGI Global, 2025, pp. 171-194. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4038-7.ch010>
169. Singh, Jaswinder, Rupinder Singh, and Jaskirat Singh. "The Sport Metaverse: A Deep Dive into the Transformation of Sports Events." In *Internationalization of Sport Events Through Branding Opportunities*, edited by Jaskirat Singh Rai, Maher N. Itani, and Amandeep Singh, 103-118. Hershey, PA: IGI Global, 2025. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4038-7.ch007>
170. Ingale, Anupama K., et al. "Technological Advances for Digital Twins in the Metaverse for Sustainable Healthcare: A Rapid Review." In *Digital Twins for Sustainable Healthcare in the Metaverse*, edited by Rajmohan R., et al., 77-106. Hershey, PA: IGI Global, 2025. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4199-5.ch004>
171. Chaddad A., Jiang Y. Integrating Technologies in the Metaverse for Enhanced Healthcare and Medical Education // *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2025. Vol. 18. pp. 216-229. [10.1109/tlt.2025.3537802](https://doi.org/10.1109/tlt.2025.3537802)
172. A. Nechesov, I. Dorokhov and J. Ruponen, "Virtual Cities: From Digital Twins to Autonomous AI Societies," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 13866-13903, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3531222.
173. Pajani, M., Safavi, A., Shakibamanesh, A., Adibhesami, M. A., & Sepehri, B. (2025). Augmented reality and digital placemaking: enhancing quality of life in urban public spaces. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/17549175.2025.2455620>
174. Sahraoui, Y., Kerrache, C.A. (2025). Sensors and Metaverse-Digital Twin Integration: A Path for Sustainable Smarter Cities. In: Kerrache, C.A., Sahraoui, Y., Calafate, C.T., Vegni, A.M. (eds) *Mobile Crowdsensing and Remote Sensing in Smart Cities. Internet of Things*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72732-0_3

175. Argota Sánchez-Vaquerizo, J. Urban Digital Twins and metaverses towards city multiplicities: uniting or dividing urban experiences?. *Ethics Inf Technol* **27**, 4 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10676-024-09812-3>