



O Grupo do Leão, Una nueva Visualidad de Acceso: una propuesta metodológica en torno al uso de la realidad virtual en personas con discapacidad visual¹

Patrícia Roque-Martins²; Leticia Crespillo-Mari³.

Recibido: 14 de febrero de 2022 / Aceptado: 11 de julio de 2022.

Resumen. Este artículo tiene como objetivo reflexionar sobre las posibilidades que ofrece la realidad virtual como elemento mediador entre el objeto artístico y el público con discapacidad visual. A partir de la digitalización fotogramétrica y el tratamiento virtual de la pintura *O Grupo do Leão (1885)* de Columbano Bordalo Pinheiro (pieza clave del realismo portugués) ponemos el foco en la retroalimentación mecano-háptica como recurso de inclusión cognitiva y socioafectiva en el ámbito museístico. El propósito es desarrollar e impulsar un prototipo tecnológico (en curso) que haga efectivo el encuentro estético entre el espectador con discapacidad visual y el objeto de museo del modo más auténtico posible. Finalmente, se especifican algunos resultados ya obtenidos durante una estancia de investigación internacional llevada a cabo en la FCSH Nova de Lisboa en el área de Humanidades Digitales e Historia del Arte: procesos de captura y generación del modelo tridimensional, limpieza y tratamiento con *software 3D* especializado, para contribuir a una nueva exploración de los sentidos dentro del campo de la inmersión visual en museos. **Palabras clave:** Accesibilidad, Discapacidad Visual, Fotogrametría, Realidad Virtual, Museos.

[en] O Grupo do Leão, A new Visuality of Access: a methodological proposal around the use of virtual reality in people with visual disabilities

Abstract. This article aims to reflect on the possibilities offered by virtual reality as a mediating element between the artistic object and the visually impaired public. From the photogrammetric digitiza-

¹ Este trabajo ha sido financiado por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (Portugal) REF^a 2020.01154. CEECIND; Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa; Instituto de História da Arte. Asimismo, este artículo es resultado de los proyectos de investigación «Estudio e interpretación del dominio de las exposiciones artísticas como sistema cultural complejo mediante analítica de datos y procesamiento del lenguaje natural» (PID2021-125037NB-I00); «Ecosistema de datos abiertos y enlazados del subsector cultural de las exposiciones artísticas: formalización ontológica, soluciones tecnológicas y modelos de explotación para la generación de conocimiento y valor en el ámbito de las ICC» (PY20_00508) y «Diseño de un modelo semántico guiado por ontologías del dominio de las exposiciones artísticas para la generación de conocimiento y valor en el ámbito de las Industrias Culturales y Creativas» (ICC) (UMA20-FEDERJA-126) dirigidos por la Dra. Nuria Rodríguez Ortega. Dicho texto ha sido posible, también, gracias al contrato del Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Málaga, del que es beneficiaria Leticia Crespillo-Mari.

² Universidade Nova de Lisboa (Portugal)
E-mail: pmartins@fesh.unl.pt
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6479-0783>

³ Universidad de Málaga (España)
E-mail: lcrespillom@uma.es
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8367-6580>

tion and virtual treatment of the painting *O Grupo do Leão* (1885) by Columbano Bordalo Pinheiro (a key piece of Portuguese Realism), we focus on mechano-haptic feedback as a resource for cognitive and socio-affective inclusion in the museum field. The purpose is to develop and promote a technological prototype (in progress) that makes effective the aesthetic encounter between the visually impaired viewer and the museum object in the most authentic way possible. Finally, some results already obtained during an international research stay carried out at the FCSH Nova from Lisbon around Digital Humanities and History of Art are specified: capture processes and generation of the three-dimensional model, cleaning, and treatment with specialized 3D software to contribute to a new exploration of the senses within the field of visual immersion in museums.

KeyWords: Accessibility, Visual Disability, Photogrammetry, Virtual Reality, Museums.

Sumario 1. Introducción. 2. (ejemplo) Museos de arte para personas con discapacidad visual. Breve historia de una exclusión. 3. Cómo superar la información visual usando realidad virtual: estrategias hápticas. 4. Propuesta metodológica en torno a la pintura O Grupo de Leão (1885). 4.1. Preparación del modelo fotogramétrico. 4.2. Elementos de acompañamiento: estímulos auditivos y hápticos para el reconocimiento no visual. 4.3. Implementación del modelo en museos y actividades a realizar. 5. Conclusiones. Referencias.

Cómo citar: Roque-Martins, P. & Crespillo-Marí, L. (2023). O Grupo do Leão, Una nueva Visualidad de Acceso: una propuesta metodológica en torno al uso de la realidad virtual en personas con discapacidad visual. *Arte, Individuo y Sociedad*, 35(1). 29-51. <https://dx.doi.org/10.5209/aris.80509>

1. Introducción

Las tecnologías han transformado el modo en el que experimentamos la realidad. Vivimos en una sociedad donde los sistemas de comunicación son el máximo exponente de nuestra relación con el mundo. Estos nuevos medios –matizando el concepto “nuevos” – facilitan constantemente el intercambio de información, así como el desarrollo formativo y el proceso enseñanza-aprendizaje en cualquier ámbito educacional, posibilitando el acceso a la cultura artística independiente de la condición intelectual o física del usuario final. Por tanto, si hablamos de inclusión, accesibilidad y democratización como elementos clave para la participación efectiva de personas con diversidad funcional debemos, también, tener en cuenta aquellas herramientas que posibiliten una mejora de la calidad de vida de estas.

O Grupo do Leão se concibe como una de las obras más significativas de Columbano Bordalo Pinheiro, ya que recoge en una escena de gran tamaño, a todos los artistas representantes del naturalismo portugués dentro de la cervecería dónde solían reunirse⁴. La importancia del cuadro reside, según Margarida Elias (2008, pp. 152-153), en su similitud con los retratos del siglo XVII, pues esto implicaría el uso de ciertos modelos estéticos tradicionales para la reproducción de los personajes. Sin embargo, Columbano moderniza el cuadro y sitúa a los artistas lejos del resto de la sociedad, algo muy propio del siglo XIX homenajando al grupo en el que él mismo se representa como líder de forma irónica.

⁴ Es un bien clasificado por el estado portugués como “tesoro nacional” Esta clasificación corresponde a la forma más alta de protección definida por la Ley Básica del Patrimonio Cultural (Ley n.º 107/2001, de 8 de septiembre de protección y valorización representa un valor cultural de gran importancia para la Nación).

Columbano no se entiende como un artista clásico, ni siquiera como un puro creador modernista. La ambigüedad que reviste a este creador tiene que ver con su singularidad en la técnica: la psicología de su pincel en el retrato portugués y la majestuosidad de su color (Valentim, 2004, p. 37). Es por ello por lo que la obra *O Grupo do Leão* se vuelve tan interesante, ya que estamos ante un referente de la pintura de una generación de artistas que se enfrentaban al tradicionalismo, reformulando propuestas del pasado en clave moderna y bajo el prisma de la vanguardia internacional efervescente.

Con el objetivo de crear una herramienta para el acceso de las personas con discapacidad visual a la obra de Columbano, se desarrolló el proyecto *O Grupo do Leão, Uma Nueva Visualidad de Acceso*⁵. El proyecto busca hacer accesible una pintura bidimensional (2D) al usuario con discapacidad visual mediante la aplicación de técnicas de modelado 3D (extrusión de geometría y creación de volúmenes en diferentes niveles para la diferenciación de planos, personajes y texturas, así como audio-descripciones contextualizadas que ofrecen información sobre lo que el cuadro recoge). Así, para ampliar la capacidad comunicativa museográfica de esta pintura y ponerla al servicio de la diversidad, sin depender estrictamente del sentido visual, se supone el uso de la técnica de La fotogrametrización.

Uno de los dispositivos que más ha evolucionado en estos tiempos y mejor se ha adaptado a la realidad social actual, ha sido el guante háptico. En este sentido, sorprende la capacidad de programación de los *Games Engines* en colaboración con este tipo de *hardwares* que pueden ser programados para transcodificar información. El guante háptico posibilita trabajar con códigos vibratorios que pueden ayudar a personas con baja visión o completamente ciegas, a sentir superficies y texturas de objetos tridimensionales virtualizados pudiendo distinguir, además, aquello que no es visible en un entorno controlado. La nueva generación de guantes hápticos usa la somática y la cinestesia natural del cuerpo para potenciar la capacidad táctil del usuario con discapacidad visual frente a los artefactos a percibir.

Si bien la gama de experiencias inmersivas es enorme en función del estándar corpóreo receptor neurotípico, aún se requieren de investigaciones y herramientas que faciliten la accesibilidad e inclusión de estas personas en todas y cada una de las instituciones culturales europeas. A tal respecto, este artículo recoge desde una perspectiva teórica-práctica y académico-científica los primeros pasos dados en nuestra investigación, los cuales incluyen la preparación del modelo, la programación de estrategias comunicativas (elementos que acompañarán al prototipo) y algunos resultados previos al trabajo *in situ* con el grupo de control y su posterior implementación del prototipo en el ámbito museístico para el disfrute general del colectivo.

⁵ El proyecto *O Grupo do Leão, Uma Nueva Visualidad de Acceso* se llevó a cabo durante una estancia internacional de investigación llevada a cabo por la doctoranda Leticia Crespillo del Departamento de Historia del Arte da Universidad de Málaga en la FCSH Nova de Lisboa bajo la supervisión de José de Oliveira y Patricia Martins del Instituto de História da Arte (Grupo MuSt), así como Emília Ferreira (directora del Museo Nacional de Arte Contemporânea do Chiado). Esta investigación tuvo como objetivo reflexionar sobre las posibilidades que ofrece la realidad virtual como elemento mediador entre el objeto artístico y el público con y sin discapacidad visual.

2. Museos de arte para personas con discapacidad visual. Breve historia de una exclusión

Marcelo Carrozzino y Massimo Bergamasco (2010, pp. 452-458) ya hablaban hace una década del arte como medio de disfrute sensitivo y privilegiado. Sin embargo, todavía sigue siendo necesario hacerlo accesible al usuario con diversidad. Usar y aplicar tecnologías interactivas, inmersivas y participativas en el museo sigue siendo muy costoso. Proponer estrategias en esta línea por parte de los historiadores del arte y profesionales del museo, es el primer paso. Ambos autores tratan de clasificar los sistemas de realidad virtual en cuanto a sensorialidad, usabilidad y calidad. La realidad virtual, en sí misma, es una tecnología muy utilizada en diferentes sectores de la sociedad por ser altamente atractiva en cuanto a divulgación, educación y accesibilidad (visual, acústica, háptica).

Las personas con discapacidad visual también muestran un amplio interés por el arte visual y, sobre todo, ante la posibilidad de visitar exposiciones. El problema radica en el estigma cultural asociado a la discapacidad visual que se traduce en la escasa oferta de exposiciones de artes visuales con recursos adaptados a este público. Estas circunstancias han contribuido al distanciamiento entre las personas con discapacidad visual y el mundo de las artes visuales (Martins, 2017, p. 285).

A lo largo de la historia los museos han sido lugares destinados fundamentalmente a la exploración visual. Esto implica, casi por definición, un impedimento de acceso a las artes visuales por parte de personas con discapacidad visual. A este problema se añade la idea de que los objetos de arte visual en sí mismos no están destinados a ser tocados, oídos o escuchados. Están destinados a ser vistos, refiriéndose a una contemplación visual inminente y obstaculizando a las personas que no tienen la posibilidad de ver. Sin embargo, algunas dinámicas artísticas de autores contemporáneos han abierto espacios para otras posibilidades de interacción entre las artes visuales y las personas con discapacidad visual. Autores como Lygia Clark, Félix González-Torres, Cildo Meireles, Franz West han recurrido a materiales diversificados con múltiples características sensoriales, en los que se invita al público a interactuar a través de los diferentes sentidos no dependiendo exclusivamente del sentido de la vista (Sarraf, 2015).

Además, la experiencia estética en las artes visuales se ha considerado el elemento clave en el acceso de las personas con discapacidad visual a los museos. Según Almeida *et al.* es precisamente esta experiencia estética la que llevará al público con discapacidad visual a reflexionar sobre la creación y el concepto del objeto museístico en particular, su relación con los diferentes estilos artísticos, la técnica utilizada y el concepto de originalidad. Por tanto, los recursos de accesibilidad en los museos deben recrear el artefacto artístico y no reproducirlo. Se trata, así, de un esfuerzo de reinención que llevará al sujeto con discapacidad visual a “sumergirse” en dicho objeto y dejarse «impregnar» por ello (Almeida *et al.*, 2010 pp. 96).

Existen diversos museos que ofrecen algunas reproducciones de carácter táctil o recorridos especializados, pero no de forma autónoma (Museo Thyssen- Bornemisza, MNAC, MNCARS, MAN, entre otros) Esto es un hándicap, ya que el usuario con discapacidad visual no se vuelve dueño de su experiencia de forma total. Por ello, es importante hablar de autonomía y de accesibilidad en el contexto de las visitas a museos, pues, en la mayoría de los casos las personas con discapacidad visual

siguen siendo dependientes de un familiar o un amigo. Mejorar el disfrute artístico del usuario invidente sin tener que recurrir a esta figura de acompañamiento se vuelve un reto actual y futuro. Además, debemos de tener en cuenta sus motivaciones, problemas, necesidades y experiencias individuales, los cuales afectan también a la experiencia final en primera persona. Esto es obligatorio si queremos que el acceso sea un éxito en términos inclusivos (Asakawa *et al.*, 2019, pp. 382-384).

El problema de acceso a la información artística visual, desde el punto de vista museográfico, sigue siendo un tema candente en la actualidad. En *A Study of Multi-Sensory Experience and Color Recognition in Visual Arts Appreciation of People with Visual Impairment (2021)* se remarcan las limitaciones que experimentan las personas con discapacidad visual en diferentes grados frente a una exposición museística. Esta falta de acceso cognitivo y sensorial nos obliga a plantear soluciones desde la perspectiva humanística (Dong Cho, 2021, p. 470).

La tecnología sensorial influye en el desarrollo de la cultura y en su democratización en términos de acceso a la información inmediata. Conceder acceso a una persona ciega para que pueda explorar estéticamente un objeto artístico dentro de un museo o una galería ayuda a que la experiencia sea completa con relación a los propios códigos mentales no-visuales del usuario. Lo háptico, por tanto, proporciona esta experiencia mediante cifrado vibratorio (acompañado de otros estímulos auditivos, por ejemplo) que facilitan, no solo la identificación de las imágenes, sino que, también, garantizan su significación perceptual. Esta modalidad de interacción tangible o “modalidad cruzada tacto-sonido”, y que difiere entre personas ciegas y no ciegas (Dong Cho, 2021), cruza diversos canales sensoriales que interpretan los impulsos de una u otra forma generando la creación de conocimiento individual mediante la información estrictamente necesaria y en función de la necesidad multisensorial predominante del visitante con discapacidad. Estas restricciones informativas o comunicativas propias de un museo no adaptado son uno de los grandes problemas a los que nos enfrentamos los investigadores.

Ya en 2016, según Susana Mesquita y Maria João Carneiro, se hablaba de un cómputo total de personas con discapacidad visual que superaba los 250 millones en el mundo y que, por tanto, representaban una importante cantidad de visitantes de museos (2016, p. 373). Aun así, el museo público ha seguido limitando la accesibilidad a los contenidos museísticos a este colectivo. Mejorar la calidad de vida por medio de la inclusión requiere de infraestructuras que promuevan la creación de museos inclusivos o nuevos museos que pongan de relieve este problema que parece tabú.

Dentro de las instituciones tratadas en este artículo, se encuentra el Museo Nacional de Arte Contemporânea do Chiado en Lisboa, Portugal (institución en el que se implementará el prototipo en curso y dónde se encuentra expuesta la pintura *O Grupo do Leão*); museo que tomó conciencia del problema de la exclusión social de los públicos con diversidad funcional hace ya tiempo y que sigue recalcando, bajo la dirección de Emília Ferreira, la conveniencia de implementar experiencias sensoriales complejas donde la realidad virtual se erige como una tecnología adecuada para facilitar la movilidad exploratoria del usuario (Mesquita y João, 2016, pp. 347-388). Podemos sumar a estos intentos los de Melanie Sorrell, Dereck Norton, Jeff McAdams, Rachael Winterling y Kathleen Dipple (2017, pp. 105-203) con la creación de una exposición en línea accesible para personas con discapacidad visual provista de audios e imágenes que debían explorar imaginativamente. Si bien, esto que se queda hoy algo obsoleto, ya trataba de mejorar en la medida de lo posible el enfoque narra-

tivo respecto de este tipo de usuarios con discapacidad representando información a partir de patrones de textura, color o formas con descripción auditiva agregada.

¿Qué pasa con la realidad virtual en los museos? Históricamente ha sido una herramienta usada para crear experiencias dirigidas a personas neurotípicas y sin ningún tipo de adaptación especial. La realidad virtual ofrece entornos inmersivos con diversos enfoques adaptativos y mucho más inclusivos. Los museos son las instituciones más importantes en cuanto a fomento permanente del aprendizaje (Rubio, Gertrudis y García, 2017, pp. 2-21) y, por tanto, el desarrollo de nuevos lenguajes y narrativas museográficas tienen un alto potencial expresivo que puede ser aplicado en términos de diversidad. Asimismo, recurrimos a Harriet Dunn en *Facilitating Art Access for People with Visual Impairment* para dejar algo claro: la suposición de Aristóteles sobre que los ciegos son incapaces de apreciar el mundo que les rodea (incluidas las obras de arte) parte de una premisa falsa (2018, pp. 245-247) que hay que deconstruir. El usuario con discapacidad visual ve el mundo y lo interpreta a partir de sus propios códigos sensoriales táctiles, auditivos y hápticos. Estos sentidos ofrecen mucha información a las personas con discapacidad visual y les permite obtener de su entorno un conocimiento muy completo y de gran calidad sensorial.

3. Cómo superar la información visual usando realidad virtual: estrategias hápticas

En el año 1998 ya se hablaba de lo importante y emocionante que sería el campo de la interacción hombre-máquina en lo referente al diseño de interfaces visuales y entornos tridimensionales. De hecho, el impacto que tendría en la calidad de vida de personas con cualquier tipo de discapacidad ya estaba siendo reconocido (aún siendo una época con muchas limitaciones de *software* y *hardware*). El artículo *Haptic Virtual Reality for Blind Users* (1998) recoge una investigación interesante acerca de experiencias con usuarios ciegos a partir del desarrollo de ciertos planteamientos hápticos “sensibles” y objetos virtuales acoplados en experiencias inmersivas (vibraciones, texturas, volumen, profundidad, etc.) para la comprensión de determinados objetos (1998, pp. 92-99). Posteriormente, en 2004, se desarrolla una herramienta háptica de realidad virtual para mejorar la accesibilidad de personas con daño visual frente a objetos que podían ser percibidos mediante el tacto (Nikolakis et al., 2004, pp. 20-22).

Poco después, en 2006, David Swapp, Vijay Pawar y Céline Loscos describen efectos de “coubicación háptica, sensorial y visual” en *Interaction with co-located Haptic feedback in Virtual Reality*” y explican determinados modos sensoriales de conducción transmisiva, así como de rendimiento de la realidad virtual en entornos tridimensionales (2006, pp. 24-30). Es importante entender cómo funciona la coubicación con relación a la retroalimentación háptica en el desempeño de tareas. Hoffman (1998) o Sallnäs et al. (2000) demostraron anteriormente que la interacción en un entorno 3D cuando hablamos de personas con discapacidad visual requiere de un entrenamiento, puesto que la cualidad de lo inmersivo está ligada habitualmente al campo de visión. Así, la inmersión puede ayudar a solucionar los problemas de control del espacio a través del factor presencia: cinestesia corporal autónoma y propiocepción del sujeto activo que participa del espacio intervenido virtual.

En *A model to design interactive learning environment for children with visual disabilities* se remarca que desde el año 2007 se desarrollaron múltiples *softwares* con el objetivo de incluir la diversidad en el ámbito de la educación con la idea de crear aplicaciones que permitieron el acceso a la información por parte de estas personas ciegas o con baja visibilidad, sin dependencia del sentido de la vista. Los sistemas cognitivos están destinados a modelar e implementar la realidad de manera computacional buscando una construcción innovadora haciendo uso de tecnologías que posibilitan este acceso y su inclusión en el entorno artístico del museo (Sánchez, 2007, pp. 149-150). Así, el entorno háptico perceptivo y auditivo, se implica en las emociones desencadenando la imaginación (imagen mental) posibilitando, con ello, el aprendizaje a través del ojo de la mente y no del ojo fisiológico.

El mismo autor, junto a Mauricio Sáenz, expone la utilidad y desarrollo de estos modelos de respuesta sensitiva *input/output*. El desarrollo de habilidades cognitivas en entornos virtuales-espaciales llega a ser equivalente al de la realidad. Las respuestas táctiles y auditivas estimulan la memoria creando recuerdos en los que los usuarios se vuelven autónomos *per se* (Sánchez y Sáenz, 2006, pp. 200-201). El objeto depende del contexto, pero cuando hablamos de diversidad intelectual o funcional, se requiere de la experiencia y de los procesos de diseño interactivo. Mott, Cutrell, González, Holz, Ofek, Stoakley y Ringel investigaron sobre la posibilidad de acceso a la realidad por parte de personas con discapacidad definiendo estándares de juego y acciones físico-cognitivas en entornos adaptativos y flexibles (Mott et al., 2019, pp. 451-454).

La realidad virtual es un recurso clave en lo que entendemos como relación inmersión-interacción-imaginación. La interfaz de usuario, junto a los dispositivos hápticos y los recursos auditivos, influyen en el aprendizaje. La retroalimentación háptica amplía el rango de experiencia sensitiva y estimula la modalidad propioceptiva y cinestésica paramétrica corporal del usuario, la cual cumple un papel fundamental como eje de contacto con el resto de los elementos del entorno (Stefan Lontschar et al., 2020, pp. 171). Las personas con necesidades especiales se enfrentan a desafíos enormes cuando hablamos de habilidades como la atención, la memoria, el lenguaje, la cognición o la propiocepción, etc., y la interacción involucra a estas personas usando estrategias que implican tacto y sonido, (Jeffs., 2009, pp. 253-255), dándoles apoyo para interactuar sin limitaciones (manipulación y movimiento). La realidad virtual contribuye a reducir la brecha de oportunidades entre los miembros de los distintos colectivos (Dick, 2021, pp. 1-17) y, además, posibilita a los usuarios experimentar un contenido renderizado sin distinción y sin exclusión.

Existe un caso particular de desarrollo inmersivo diseñado por Jani Väyrynen, Ashley Colley y Janna Häkkinen y que presentan en *Head Mounted Display Design Tool for Simulating Visual Disabilities* (2016). Este diseño sirvió para comprender las necesidades del usuario con discapacidad visual dentro de diversas situaciones inmersivas. Los resultados demostraron que el uso de un HMD (*Head-Mounted Display*) y un *Game Engine* como *Unity* permitieron a estas personas realizar las mismas tareas que a las personas con capacidad visual completa (2016, pp. 12-15). Añadir también la demostración realizada por Zhao, Bennet, Benko, Cutrell, Holz, Ringel y Sinclair en el CHI 2018 y del que surge el artículo *Demonstration of Enabling People with visual impairments to Navigate Virtual Reality with a Haptic and Auditory Cane Simulation* (2018, pp. 21-26) y en el que se presenta el *Canetroller* de *Microsoft Research* como herramienta inmersiva para personas con discapacidad visual a través de un controlador háptico portátil.

En *First Steps Towards Walk-in-place Locomotion and haptic Feedback in Virtual Reality for Visually Impaired* se presenta un experimento en el que se usa una cinta de correr para que el usuario pueda caminar sobre ella (conocer los efectos locomotrices del movimiento en una persona con discapacidad visual, a través de retroalimentación vibro-táctil de unos bastones fabricados por los investigadores). Este experimento presenta una facilidad de uso bastante interesante en cuanto a la emulación real del entorno simulado (Kreimeier y Götzelman, 2019, pp. 4-9).

Otro estudio es el de Alexa Siu, Mike Sinclair, Robert Kovacs, Eyal Ofeck, Christian Holz y Edwards Cutrell de 2020, en el que plantean un controlador basado en un bastón blanco que también permite la navegación sin visión en entornos amplios (arquitectónicos) simulados. Las texturas se renderizan a partir de vibraciones de contacto y se completa con el audio externo en progresión (2020, pp. 2). Iglesias, Casado, Gutierrez, Barbero, Avizzano, Marcheschi y Bergamasco (20014, pp. 13-18) describen su experiencia háptica y auditiva que permite a personas con discapacidad visual acceder a mundos tridimensionales a través del sentido del tacto. Se trata de una interfaz de doble dedo, desarrollada por GRAB (plataforma integrada para el desarrollo de aplicaciones en diversos campos, incluido el arte).

Muy interesante también es el artículo *Developing a User-Centered Accessible Virtual Reality Video Environment for Severe Visual Disabilities* de 2021 donde Kurtis Weir, Vinita Nahar, Amar Aggoun y Andrew Pollard dónde se aborda el tema de la accesibilidad proporcionando plataformas personalizadas que miden la agudeza sensorial de los usuarios dentro de los propios espacios virtuales, así como sus reacciones. El prototipo diseñado y desarrollado ofrece la posibilidad al usuario de introducirse en un entorno virtual cuyas acciones y percepciones se potencian (Weir et al, 2021, pp. 35-53).

Hemos de decir que los sistemas de realidad virtual, así como la retroalimentación visual y auditiva, es bastante realista, aunque es pobre en comparación con la háptica, pues esta amplía los límites de la percepción de la realidad del mundo físico experimentado. Lo háptico mejora significativamente la interacción en los entornos, pues el usuario es capaz de comprender qué ocurre dentro a partir de sus propias acciones y estimulaciones de forma temporal: el usuario explora recibiendo estímulos y directrices sensoriales de percepción que varían según posición y capacidad individual de la persona (Wang *et al.*, 2019, pp. 136-162).

Los dispositivos hápticos han mejorado mucho en las últimas décadas y siguen evolucionando y perfeccionándose, adaptándose al cuerpo humano como una prolongación más en relación con el espacio físico. Esto es lo que se denomina “teoría del cuerpo sustituto” (Wang *et al.*, 2019, pp. 136-162) cuando hablamos de personas con discapacidad y cómo presencian la experiencia dentro del entorno inmersivo: cómo experimentan la retroalimentación y cómo obtienen sentido del exterior de forma autónoma soportados por la simulación como extensión corporal implícita.

Si bien, la visión permite a una persona percibir simultáneamente todas las facetas de un objeto, así como su relación con el resto de los elementos que existen en el entorno para poder planificar una conducta concreta, no es el único sentido válido para obtener una experiencia estética estrictamente hablando. Una persona con discapacidad visual o ciega (ya sea de nacimiento o por cualquier circunstancia que haya hecho que su visión se haya ido deteriorando con el tiempo) desarrolla otros mecanismos perceptivos complementarios. Las neuronas acaban por estimularse de otra manera según la situación y pueden generar representaciones en la memoria ha-

ciendo que el usuario asocie objetos e interactúe con ellos obteniendo una experiencia inmersiva de amplia magnitud con la que adquirir conocimiento, aprender y mejorar su calidad de vida (Vercellone et al., 2018, pp. 75-89). Es la retroalimentación háptica la que permite, estéticamente hablando, el juego sensorial de posibilidades expresivas y perceptivas, compensando la carencia de estímulos visuales.

Se trata de controlar la salida háptica y la información (mediante controladores como *Steam* + las gafas de realidad virtual y los *Game Engine*), los cuales van a ayudar a obtener las funcionalidades de presión necesarias, el desplazamiento, la tensión y la interacción física que tanto nos interesa. Algunos de estos “actuadores” son *Kor-Fx*, 2014; *Hardlight VR*, 2017; *Woojer*, 2018; *Teslasuit*, 2018; *Nordicktrack*, 2018; *Tanvas, Hap2U*, 2018; *Graphiti*, 2018; *BrainPort VI00*; *Wicab*, 2018.

Lo que hay que tener muy en cuenta es la reducción de los sistemas de señal o modulación sensorial, pues una sobrecarga puede ser fatal. La investigación, como podemos observar, va evolucionando e incluyendo, no solo el ojo humano, sino, también, el sistema somatosensorial y las representaciones táctiles como medio. Lo remarca Stephen Brewster (2005, pp. 273-284) en *The impact of Gaptic “touching” technology on Cultural Applications*: la retroalimentación háptica y la fuerza que esta genera en el contexto de la interacción con objetos virtuales tridimensionales puede tener un alto impacto en el ámbito del museo. El *feedback* háptico abre la puerta a multitud de posibilidades de experimentación y percepción estética a personas con discapacidad visual. Con ello, van a poder experimentar las obras que forman parte de cualquier exposición (como las temporales, por ejemplo, que son las más complejas por su duración limitada).

Algunos de estos proyectos se están llevando a cabo desde el año 2005 en la universidad de Glasgow tratando de demostrar cómo la percepción háptica junto a la cinestésica relacionada con el cuerpo en movimiento, completa lo visual, aunque lo visual por sí solo no tenga tanta potencia. Los dispositivos hápticos influyen directamente en la piel generando ese *input* de entrada tan importante que afecta al usuario por vibración, por tanto, retroalimenta el estímulo *per se* obteniendo respuestas de acción que se traducen en una conducta ante el objeto artístico o el artefacto (Brewster., 2005, pp. 273-284).

Debemos entender el cuerpo como un gran cerebro en el que el “cerebro visual”, tal y como lo conocemos, es parte significativa de la experiencia, pero no la única.

Todo esto nos conduce a esos cambios que se están produciendo en el modelo de inclusión social, tal y como lo indican Gkanidi y Drigas en *Tactile Maps and New Technologies for Blind and People with Visual Impairment* (2021). Los modelos tecnológicos de inmersión e interacción humano-máquina cada vez están más aceptados y apelan a la discapacidad como reto democratizador. Estos autores se han centrado en investigar los mapas táctiles, evaluando el campo visual de los usuarios y el entorno en el que estos se mueven. El comportamiento neurológico y la activación neurocerebral es diferente en cada caso (ocurre con personas con visualidad normal o no). A nivel háptico la información se obtiene de otro modo y, por tanto, el desarrollo cognitivo y neurológico del usuario no es completo. Así, las tecnologías virtuales sumando autonomía de movimiento y orientación (mapa mental) ayudan al resto de los sentidos para que la experiencia se complete (Gkanidi y Drigas., 2021, pp. 1-5).

Hay que pensar seriamente en valorar las funciones psicofísicas de la rugosidad percibida hápticamente. El estudio de Kornbrot, Penn, Petrie, Furner y Hardwick de 2007 ya demostraba que lo háptico parte de las potencias individuales, las cuales de-

penden de la propia “codificación neuronal” de cada persona (la biología intrínseca del ser humano). Sus estudios demuestran que pocos participantes tuvieron puntos similares reales-virtuales en cuestión de percepción de las superficies. Esto es importante, pues no solo ocurrió en personas invidentes, sino también en las videntes. En este caso, los comportamientos fueron casi similares (Kornbrot et al., 2007, pp. 502-512). Por tanto, los mecanismos subyacentes de este tipo de percepción háptica han de tenerse en cuenta a la hora de crear dispositivos o prototipos que requieran de estímulos para funcionar, puesto que estos estímulos variarán en función de la psicofísica humana.

Otro proyecto interesante es el de Diego Villamarín y José Manuel Menéndez (2021) que desarrollan una alternativa al video inmersivo, enfrentando a personas con discapacidad visual a enfrentarse a un programa de TV. Lo hacen a través de experiencias auditivas y hápticas, incluyéndolos como espectadores en el propio programa en directo o pregrabado. Esto es un gran avance si tenemos en cuenta artículos como *Tactile Acces for Blind People to Virtual Reality on the Wide Web*. de A. Hardwick, D. Furner y J. Rush del año 1997.

En cuanto a inclusión y comunicación hay que matizar que es una preocupación emergente en muchos casos. De hecho, vivimos los tiempos de la participación y la innovación y qué mejor que incluir la diversidad de audiencias en nuestro caso. Emily Dawson (2014, s.p) nos dice que la comunicación científica y la investigación se deben ocupar de ello; *dar oportunidades equitativas y empoderar a aquellos que aún no lo estén a través de proyectos, evaluaciones, perspectivas, motivos, combinaciones y, sobre todo, personas*. Ana Matias et al., invitan a involucrar a las comunidades en riesgo de exclusión ofreciendo proyectos de esta índole. De hecho, nos presentan esa inclusión en su proyecto “*Embodying Memories*” y una estructura formada por tres fases consecutivas de trabajo, teniendo en cuenta a grupos infrarrepresentados y diversos que solo pueden ser captados por iniciativas como estas (Matias et al., 2021, pp. 1.-17).

La tecnología multimodal, por tanto, se adapta muy bien a las necesidades de interacción física en personas con discapacidad visual. En *Multi-modal virtual environments for Education with haptic and olfactory feedback* se sugiere que la inmersión virtual con la realidad virtual permite construcción de conocimiento a partir de experiencias sensoriales, y que de esta manera se proporciona una alternativa al proceso educativo. En este artículo se presenta VE VIREPSE Multimodal, una plataforma de realidad virtual para simulación y experimentación usando retroalimentación háptica, olfativa y auditiva (Richard, Tihou y Ferrier, 2006, pp. 207-225). Al respecto, se apoya la interacción a través del pensamiento abstracto y conceptual que trabaja, a su vez, con las posibilidades de la memoria espacial, la orientación, la imaginaria, la cinestesia y las habilidades de manipulación de objetos dinámicos 3D en un entorno inmersivo (Rose, Brooks y Rizzo, 2017, pp. 2-29).

La tecnología háptica es una importante facilitadora de inclusión social para personas con diversas discapacidades. De hecho, así lo remarcan Mirfa Manzoo y Vivian Vimarlund haciendo hincapié en las diversas formas de comunicación que han permitido una integración progresiva de las personas que tienen grados dispares de discapacidad. Existe una preocupación en cuanto a las definiciones y términos conceptuales ligados a la inclusión por medio de las nuevas tecnologías. Hay que centrar los esfuerzos, dicen, en adoptar medidas correctas y definir conceptos que fundamenten esta necesidad de empoderamiento de las personas con discapacidad en la sociedad del conocimiento (Manzoo y Vimarlund., 2018, pp. 377-390) y eso, es lo que tratamos de hacer con el proyecto *O Grupo do Leão, Una Nueva Visualidad de Acceso*.

4. Propuesta metodológica en torno a la pintura *O Grupo do Leão* (1885)

Las nuevas tecnologías han evolucionado rápido y esto es una ventaja, pues podemos contar con *hardwares* o *softwares* gráficos que han superado con creces todas nuestras expectativas. Con ello, se abre un campo enorme a la experimentación dentro de las humanidades digitales en general y a la historia del arte en particular desde la perspectiva de los planteamientos de la museografía inclusiva. La realidad virtual se convierte en una herramienta útil para estos casos, pues la interfaz ofrece inmersión, interacción, estímulo sensorial y cognitivo en un espacio construido gestual y situacional donde, en resumen, “el valor estético va a depender de la actitud que tome el espectador frente al artefacto” (Hernández, 2011).

Con este proyecto se busca trazar líneas de investigación y formación que permitan indagar sobre las aplicaciones encaminadas a la inclusión sociocultural de personas con discapacidad visual haciendo uso de las tecnologías computacionales 3D en el ámbito museístico.

Durante la estancia predoctoral en 2021, se llevó a cabo la digitalización fotogramétrica del óleo *O Grupo do Leão* (1885) de Columbano Bordalo Pinheiro y localizado en el MNAC (Museo Nacional de Arte Contemporânea do Chiado). Se usó para ello una cámara Réflex Canon D3200 y un sistema de trípode y pértiga. El proceso de obtención de datos fotogramétricos conllevó dos semanas completas de trabajo. En tres sesiones que recogió la totalidad de la superficie bidimensional de la pintura. Posteriormente la información de las capturas se procesó con el software fotogramétrico *Reality Capture* y se obtuvo el material susceptible de ser trabajado minuciosamente (Fig.1).

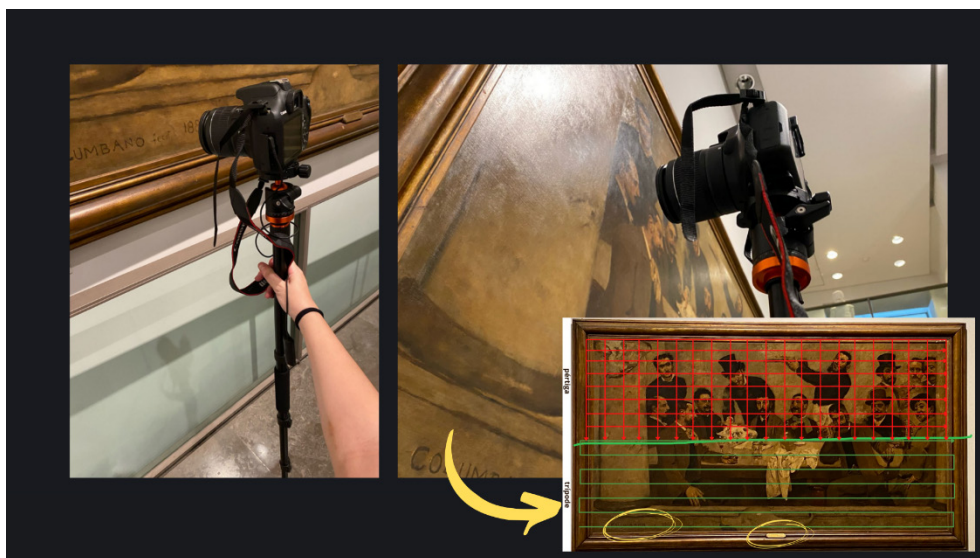


Figura 1. Proceso de fotogrametrización de la pintura *O Grupo do Leão* (1888) en el Museo Nacional de Arte Contemporânea do Chiado, Lisboa. Estrategia de captura *in situ*. (Autoría propia, 2021)

4.1. Preparación del modelo fotogramétrico

Se obtiene un modelo de 1160 capturas y 64 millones de polígonos –procesado a *normal detail* o calidad normal– (Fig. 2). Un modelo así es imposible de manejar en otros *softwares*, así que tras obtener la nube densa de puntos (*dense point*) y el modelo (malla-*mesh*) tridimensional, se procede a la simplificación de esta. El trabajo se realiza por tandas (ocurre igual al ingresar las capturas fotográficas en el programa). La simplificación se lleva a cabo de forma continua en términos relativos al 50% del tamaño original).

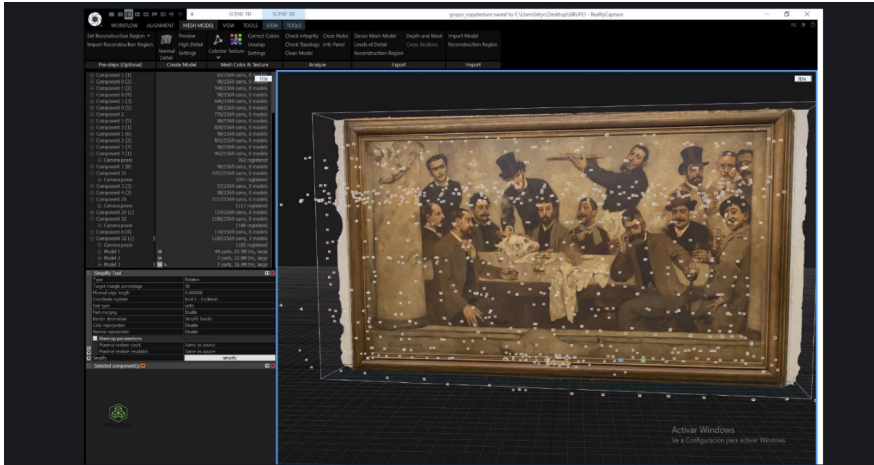


Figura 2. Modelo 3D de la pintura *O Grupo do Leão* (1888) obtenido con Reality Capture a partir de las capturas tomadas durante el proceso previo de toma de datos fotogramétricos. (Autoría propia, 2021)

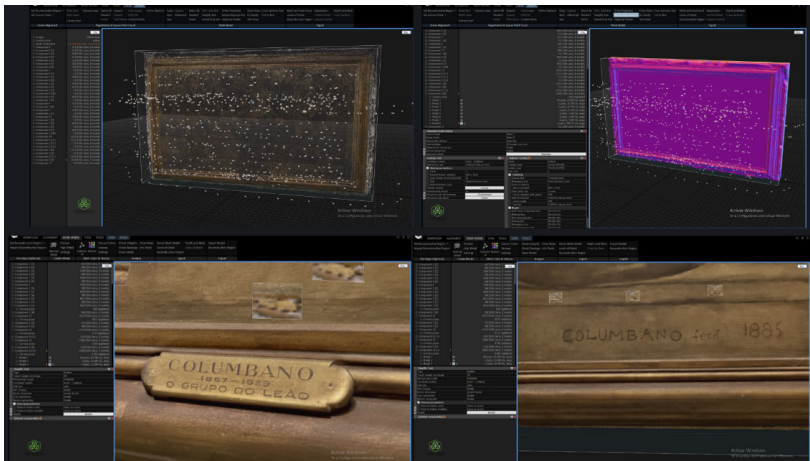


Figura 3. Obtención de la nube de puntos con Reality Capture a partir de las capturas tomadas durante el proceso previo de toma de datos fotogramétricos y reproyección de la textura para su adecuación al trabajo de postproceso con *software* de modelado 3D. (Autoría propia, 2021)

El *Simplify Tool* de *Reality Capture* permite reducir el número de polígonos haciendo más asequible y fácil trabajar con el modelo, sin perder calidad en las texturas. Se consigue un modelo de 500k (500.000 polígonos) con la calidad del modelo de 64 millones de polígonos, tras un proceso de obtención de normales (*Normal Maps*) se lleva a cabo la reproyección de la textura⁶ (*Texture reprojection*) obteniendo así todos los niveles de relieves de la malla original en *High Quality* para adaptarla a la nueva malla de menor poligonaje (Fig. 3). Esto nos va a permitir trabajar en el postproceso del modelo en *software 3D (Blender3D)* agilizando la tarea de limpieza y extrusión⁷ de formas geométricas (Fig. 4).



Figura 4. Modelo 3D de la pintura *O Grupo do Leão* (1888) tras limpieza y postproceso en Blender 3D. Objeto virtual preparado para extrusión y trabajo con Game Engine (UE5) (Autoría propia, 2021)

El prototipo necesitará de una introducción audio descrita en la que se contextualiza la experiencia: qué es, para qué, a quién va dirigido, cómo funciona, etc., haciendo hincapié en lo que el usuario va a experimentar sensorialmente participando de ella. Partimos de otras experiencias ya realizadas como la “*Touchig Masterpieces -Geometry Prague*” – *An amazing project to help the blind and visually impaired «see» iconic sculptures through the use of Virtual Reality gloves that allow people to touch 3D objects in virtual space* (Fig. 5)⁸ o el modelo de experiencia inmersiva creada por el Laboratorio de Humanidades Digitales IArHis_Lab de la Universidad

⁶ Proceso por el que la textura del modelo con mayor poligonaje se proyecta sobre la malla del modelo de menor número de polígonos (previa disminución), sin perder calidad alguna de los detalles.

⁷ Proceso por el que se genera presión sobre las caras del modelo tridimensional para cambiar la estructura del mismo, obteniendo así diferentes niveles de relieve.

⁸ Touchig Masterpieces -Geometry Prague <https://youtu.be/ZukE86YTvkh>

de Málaga titulada “*Poscatálogo*”⁹ previendo una estructura de niveles y subniveles de lectura de la obra (Fig. 6).



Figura 5. Captura de pantalla de la experiencia llevada a cabo por Geometry Prague (Touching Masterpieces) como ejemplo de proyecto háptico relacionado mediante uso de realidad virtual y guantes hápticos mecano-receptores (Fuente: YouTube, <https://youtu.be/ZukE86YTvhk> 2021)



Figura 6. Captura de pantalla de la experiencia inmersiva llevada a cabo por Opossum Studios y el Laboratorio IArtHis_Lab del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Málaga (Fuente: YouTube, <https://youtu.be/R6Nvb4nkR1M> 2021)

⁹ Experiencia Postcatálogo <https://youtu.be/R6Nvb4nkR1M>

A ello, le sumamos otras posibles aplicaciones: una contextualización sobre el museo/galería en general y la historia del arte o la obra histórico-artística en particular como medio de comunicación inherente al ser humano. Se generan diferentes niveles hápticos y auditivos que posibiliten una clara diferenciación de personajes y ropajes. Respecto al artista, su contextualización, estilo y el museo dónde se encuentra situada la obra. Este conjunto de herramientas permite hacer accesible a personas con discapacidad visual una pintura (bidimensional), por medio de tecnología 3D. De este modo se refuerza la importancia (y presencia) del resto de los sentidos, además del visual, para alcanzar el conocimiento profundo de la obra. El objetivo es provocar una experiencia sensorial inmersiva artística recreando el entorno, encuadre, posicionamiento y características físicas de cada una de las figuras para propiciar un correcto acceso estético de la pintura a personas invidentes por completo o determinados grados de diversidad visual.

4.2. Elementos de acompañamiento: estímulos auditivos y hápticos para el reconocimiento no-visual

Para desarrollar una herramienta que sea eficaz y que cubra una gran parte de las necesidades perceptivas de aquellas personas con discapacidad visual (en sus diversos grados) es esencial contar con un dispositivo háptico de retroalimentación mecánica. Son los guantes los que harán de guía para los usuarios dentro de la experiencia inmersiva *O Grupo do Leão*. El guante es un *Hardware* muy delicado que está formado por motores mecano-falángicos que se adaptan a cada uno de los dedos de la mano. Sin embargo, también es un elemento ergonómico e intuitivo con amplios criterios de usabilidad validados tras su experimentación (según los estudios mencionados en epígrafes anteriores). Los guantes, además, permiten geolocalizar la señal del usuario dentro del entorno simulado construido y el físico, controlado mediante sensores externos.

Este dispositivo háptico va conectado a un sistema de realidad virtual HTC Vive Pro y a un ordenador portátil con *STEAM*. El modelo digitalizado se convierte en un objeto 3D que va a ser intervenido con un *Game Engine*. En nuestro caso, *Unreal Engine 5* nos proporciona un entorno de actividad por niveles que posibilitan al usuario moverse corporalmente dentro de los límites configurados y navegar entre las funciones establecidas en la experiencia inmersiva. Dentro de estas funciones destacamos: la introducción contextual que define la experiencia, diferenciación de personajes y adquisición de información de cada uno de ellos, discriminación mediante relieve en distinto nivel de las texturas (prendas de ropa, utensilios, dispositivos, etc.) con la intención de contextualizar la pintura en la época que representa el cuadro. Sumamos, además, códigos de apoyo auditivo-sensorial relacionados con la escena representada: muchedumbre, sonido de copas y jarras de cerveza, burbujeo, música festiva, etc.).

Pero ¿cómo podemos convertir la bidimensionalidad de la pintura en tridimensionalidad efectiva? El procedimiento no es sencillo, aunque sepamos utilizar un *software* de modelado 3D como puede ser *Blender3D* (Fig. 7). Para llevar a cabo la reconversión se ha de tomar el modelo ya fotogrametrizado, digitalizado y limpio e importarlo a la interfaz. Una vez preparamos el modelo y obtenemos las *UV maps* (que es lo que garantiza una calidad de textura adecuada para su ubicación en la malla geométrica sin

que esta se vea afectada por distorsiones varias) se extrae el mapa de normales¹⁰ (el cual nos indica las diferencias de relieve entre zonas sobre las que vamos a poder trabajar para extruir y nivelar en altura las diversas partes de la pintura).

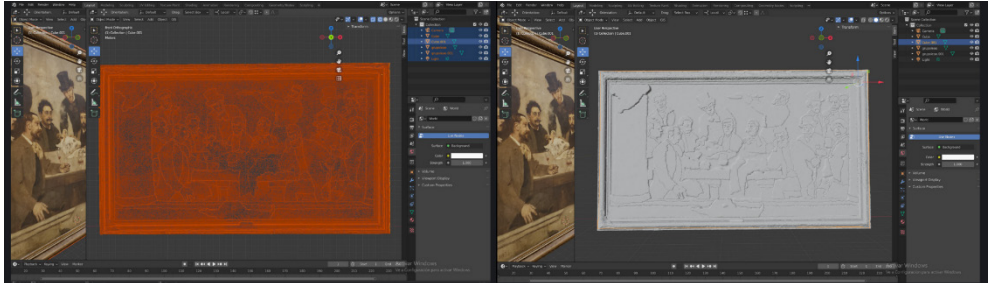


Figura 7. Proceso de extrusión con Blender 3D de la superficie del objeto 3D fotogrametrizado para la obtención de los diferentes niveles de relieve táctil (Autoría propia, 2021).

Unreal Engine es uno de los motores de juego¹¹ más interesantes en la actualidad. Junto al Laboratório de Reabilitação Psicossocial, se programarán todas las funciones hápticas y auditivas que dan forma a la representación pictórica. La vibración mecano-falángica por retroalimentación de los propios guantes nos permiten transcodificar toda esta información y ponerla al servicio del usuario con discapacidad visual, para que sean el resto de los sentidos (incidiendo en el tacto y el oído) los que le ayuden a crear la representación o imagen mental de aquello que está experimentando. Cada dedo (con su respectivo motor acoplado), cuando seleccione el nivel a experimentar, va a generar una matriz de (Fig. 8).

Los dedos índice, corazón y anular son los más utilizados en los procesos de selección con dispositivos inalámbricos. Por ello se busca adaptar los niveles de exploración a estos para que el usuario se desenvuelva de forma intuitiva en la experiencia. Para la selección de sonido, según el nivel en el que se halle inmerso, se utilizará preferentemente el pulgar. En definitiva:

- a. **Cada individuo es levantado tridimensionalmente sobre el soporte plano a diferente nivel de distancia del fondo para ser identificado:** cada uno de estos personajes irán acompañados de un soporte audio descriptivo con la información necesaria para su identificación.
- b. **Cada prenda de ropa es extruida tridimensionalmente y diferenciada de otras:** según el tipo de prenda se programarán intensidades distintas de vibración. Estos van a generar presión en las falanges cuando exista acción por parte del usuario, a partir de los motores mecánicos. Los controladores hápticos ofrecen el efecto/resultado de estimular en los dedos de las manos aportando información que el usuario aprenderá a decodificar.
- c. **Cada elemento de la escena es extruido tridimensionalmente con distintos grados de altura respecto del fondo:** Estos irán acompañados de señales

¹⁰ Textura en 2D colocada sobre el elemento 3D.

¹¹ *Software* con el que se diseñan juegos y que en este caso se utiliza para la creación de experiencias inmersivas a partir de la construcción de entornos que pueden ser experimentados en primera persona.

auditivas que se contextualizan en las acciones representadas (el sonido del vino cayendo en la copa de cristal, sorbos y burbujeo de la cerveza en la jarra, comensales masticando en el banquete, ruido de platos que vienen y van, etc.).



Figura 8. Reconstrucción de la sala del Museo Nacional de Arte Contemporánea do Chiado (Lisboa) donde se encuentra expuesta la pintura. Prototipo previo de espacio para la experiencia obtenido junto a Opossum Studios con Unreal Engine 5 (Opossum Studios, 2021).

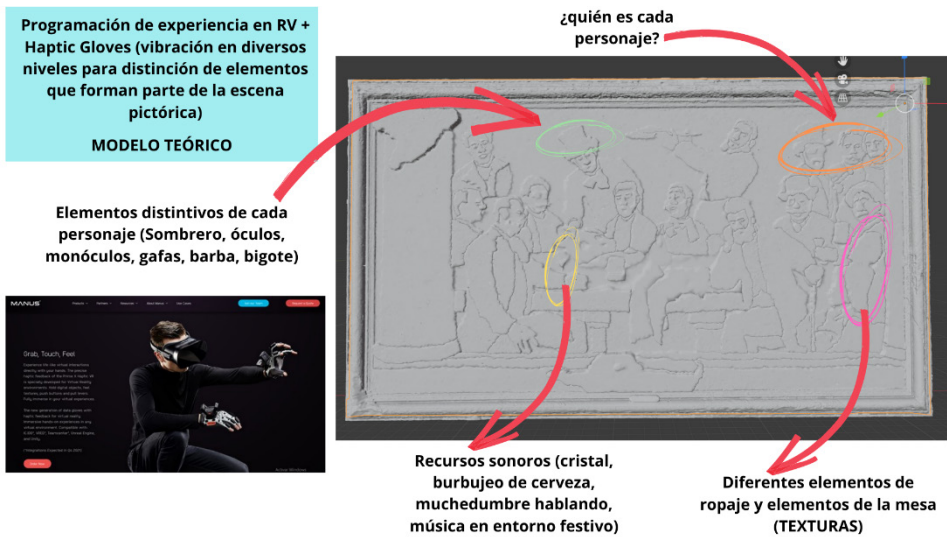


Figura 9. Modelo teórico estipulado para la experiencia en realidad virtual con guantes hápticos y niveles de distinción de elementos que forman parte de la escena (Autoría propia, 2021).

La audiencia objetiva son las personas con discapacidad visual, ciegos o con resto visual (de nacimiento o por proceso degenerativo) y, para ello, se realizan las gestiones necesarias (entrevistas previas, reuniones, colaboraciones y contactos) para que el proyecto reúna un número amplio de participantes a los que el proyecto reúna un amplio número de participantes a los que facilitar esta apreciación estética alternativa. Nos interesa comunicar una obra de arte de carácter bidimensional a la que se le proporciona “tridimensionalidad dentro de la propia tridimensionalidad” del modelo 3D en un entorno virtual. Tanto las HTC Vive Pro (con campo auditivo) como los guantes hápticos MANUS VR permiten al usuario invidente escuchar la introducción, las instrucciones de navegación y los objetivos de la experiencia, participando de los ítems del prototipo de una forma autónoma y segura en un entorno controlado, haciendo únicamente uso de los dedos de sus manos (Fig. 9).

4.3. Implementación del modelo en museos y actividades a realizar

En cuanto a implementación, la siguiente fase es la de muestreo. Al respecto, se habla de necesidades técnicas y funcionales: participantes y *hardware*. Haciendo uso de la técnica fotogramétrica y de la realidad virtual como tecnología emergente, se puede ofrecer una experiencia inmersiva única que potencia y exporta el patrimonio artístico a diferentes niveles. Así se incluye un mayor rango de audiencias, eliminando barreras o limitaciones que puedan dificultar la transferencia de conocimiento a personas con discapacidad visual. El objetivo es trabajar con un número de participantes inicial de 20-25 participantes con discapacidad visual y sin discapacidad visual, durante un periodo de 2-3 semanas para recopilar toda la información necesaria para la creación definitiva del prototipo virtual. Es clave contar con la colaboración de los participantes en cuanto a intereses y preferencias individuales y grupales (de este modo se usa una metodología de investigación participativa a través de la experiencia de los participantes). De hecho, resulta necesario trabajar con personas sin discapacidad visual a los que privar del sentido de la vista con el objetivo de comparar la agudeza de los sentidos hápticos y auditivos en relación con la orientación y la navegación espaciotemporal.

Tomando como referencia los *Principios de Sevilla* (2012)¹² se publicarán los resultados de la puesta en marcha del proyecto, la exploración *in situ* y las conclusiones. Si bien, ya se han realizado algunas conferencias en el marco de este proyecto/ estancia en la propia Universidade Nova de Lisboa, la realización de un taller abierto futuro puede contribuir a tomar conciencia del camino que aún queda por recorrer en materia de accesibilidad las colecciones de los museos.

- a. **Artículos académico-científicos en revistas indexadas JCR y Scopus:** publicación *Open-Access* de los resultados obtenidos de investigaciones e implementación del prototipo en entornos museísticos. Pretende contribuir al desarrollo de conocimiento e implementación de estas nuevas tecnologías en museos e instituciones académicas (nacionales e internacionales).
- b. **Talleres/Workshops:** Para investigadores en general y personal de museos en particular. Formación en técnicas 3D (fotogrametría, modelado 3D, impre-

¹² Los principios de Sevilla son un documento que recoge todas las recomendaciones de intervención y protocolos de actuación en torno al patrimonio, desde la perspectiva de lo virtual.

sión, scanner, *Game Engines* y otras plataformas de difusión patrimonial virtual). Adquisición de habilidades específicas con software 3D y su aplicación al ámbito artístico-cultural en clave de diversidad e inclusión para el disfrute estético de personas con discapacidad visual en el entorno expositivo contribuyendo a una mejora de su experiencia en el ámbito museístico.

- c. **Demostraciones:** en las que se especifican los principios teóricos y prácticos del desarrollo del prototipo como herramienta museográfica destinada a la diversidad.
- d. **Conferencias y seminarios:** sesiones monográficas formativas (presenciales o en línea) como espacio para el debate, la reflexión, la puesta en común de proyectos, la interacción y las redes de trabajo en torno a la mejora de la experiencia de las personas con discapacidad visual mediante el uso de nuevas tecnologías computacionales 3D. También se apostará por la internacionalización de la investigación entre entidades europeas y no europeas.
- e. **Trabajo con museos y otras instituciones artístico-culturales del circuito ibérico hispano-luso (manuales para proceder con personas con discapacidad visual de forma inclusiva y efectiva / interdisciplinariedad e investigación abierta, en el ámbito museístico):** elaboración y publicación de protocolos y procedimientos comunes para todas las instituciones museísticas en cuanto a la implementación de estas herramientas en el espacio expositivo (comenzando por el Museo Nacional de Arte Contemporânea do Chiado).

5. Conclusiones

La tecnología háptica por retroalimentación mecano-falángica es capaz de detectar movimientos y situar el cuerpo en el espacio que se está explorando, proporcionando sensaciones en tiempo real y haciendo uso de una “transcodificación” que implica diversidad y, por ende, accesibilidad a cualquier elemento del mundo virtual –equivalente al real–. Universidades, laboratorios de investigación, instituciones culturales, etc., (como en nuestro caso) siguen investigando y avanzando en el campo de la experiencia háptica, innovando y ampliando este ámbito concreto.

La apreciación estética es sensación y, por ello, apostamos por esta tecnología como parte de un proceso de apertura en el campo de la historia del arte y la museografía de vanguardia. Los museos que son lugares muy visuales deben auto examinarse y mejorar, reactualizando sus estrategias, así como los requisitos de participación fundamentales de un público diverso que deja claro que cualquiera de los sentidos es válido y relevante para el aprendizaje artístico-creativo in situ.

Los museos que son lugares muy visuales deben auto examinarse y corregirse, reactualizando sus estrategias, repensando las formas de acceso y, sobre todo, respetando los principios de igualdad e inclusión, así como los requisitos de participación fundamentales de un público diverso que deja claro que cualquiera de los sentidos es válido y relevante para el aprendizaje artístico-creativo in situ.

Este proyecto se fundamenta en la diversidad y la accesibilidad o el disfrute por parte del mayor número de personas independientemente de sus circunstancias físicas, sensoriales o niveles de conocimiento. Trabajar con guantes hápticos supone un reto en lo referente a la creación de aplicaciones, como ya hemos podido comprobar.

Este tipo de hardware puede acercar información importante del entorno, ayudando al usuario final con discapacidad a orientarse espacialmente y percibir los elementos visuales presentes.

Fotogrametrizar O Grupo do Leão (1885) implica considerar a un público que, aunque privado de usar el sentido de la visión puede explorar activamente una pintura visual y comprender su sentido estético. Se ha de tener en cuenta que las personas con discapacidad representan un 15% de la población mundial. Por ello, proyectos como este tratan de actualizar y materializar posibles estrategias de intervención cultural, eliminando barreras y respondiendo a los deseos de accesibilidad e inclusión recogidos en el objetivo 10 de la Agenda 2030¹³. Se ofrece, con ello, soluciones equitativas que den acceso universal a los contenidos tratando de mejorar la experiencia de personas con discapacidad visual en cualquier museo.

La institución museística debería tener en cuenta que el objetivo de esta tecnología es implicar al usuario mediante todos los sentidos, con la intención de ofrecer una experiencia plena y completa, independientemente de sus capacidades intelectuales o funcionales. Cuando hablamos de públicos con discapacidad visual, nos encontramos ante un campo abierto e innovador de interacción con el mundo de las artes visuales diferente a la realidad única que conocemos. Una realidad “funcionalmente diversa” a partir de la cual podemos edificar un mundo que ya no solo depende de la mirada como único parámetro, sino, también de los dedos y las palmas de las manos como núcleo receptor de la experiencia ante la obra de arte. Hemos, por tanto, de construir un museo de todos, superando la información visual normativa para convertirla en una experiencia plural de aprendizaje significativo.

Referencias

- Almeida, M.C., Carijó, F.H. & Kastrup, V. (2010). Por uma Estética Tétel: Sobre a Adaptação de Obras de Artes Plásticas para Deficientes Visuais. *Fractal: Revista de Psicologia*, Vol. 2, 85-100. doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-02922010000100007>
- Asakawa, S., Guerreiro, J., Ahmetovic, D., Kitani, K.M. & Asakawa, C. (2018). The Present and Future of Museum Accessibility for People with Visual Impairments. *ASSETS'18*, N.º 22–24, 382-384. doi: <https://doi.org/10.1145/3234695.3240997>
- Baik, S., Park, S. & Park, J. (2020). Haptic Glove using Tendon-Driven Soft Robotic Mechanism. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, V. 8, 541105, 1-12. doi: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.541105>
- Brewster, S. (2005). Impact of haptic <touching> technology on cultural applications. En Hemsley, J., Cappellini, V. &, Stanke, G. (Eds.) *Digital Applications for Cultural Heritage Institutions* (pp. 273-284). Ashgate.
- Carrozzino, M. & Bergamasco, M. (2010). Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. *Journal of Cultural Heritage*, N.º 11, 452-458. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>
- Colwell, C., Helen P., Jornbrot, D., Hardwick, A. & Furner, S. (1998). Haptic Virtual Reality for Blind Computer Users. *January*, 92-99. doi: <https://doi.org/10.1145/274497.274515>

¹³ Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. *Objetivos de desarrollo sostenible 2030*. <https://www.mdso-cialesa2030.gob.es/agenda2030/index.htm>

- Dawson, E. (2014). Reframing social exclusion from science communication: moving away from 'barriers' towards a more complex perspective. *JCOM, SISSA – International School for Advanced Studies*, N.º 13(02) C02, 1-5. doi: <https://doi.org/10.22323/2.13020302>
- Dick, E. (2021). Current and Potential Uses of AR/VR for Equity and Inclusion. *Information, Technology & Innovation foundation*, 1-17.
- Dong Cho, J. (2021). A Study of Multi-Sensory Experience and Color Recognition in Visual Arts Appreciation of People with Visual Impairment. Study of Multi-Sensory Experience and Color Recognition in Visual Arts Appreciation of People with Visual Impairment. *Electronics* 2021, N.º 10, 470, 1-37. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10040470>
- Dunn, H. (2018). Facilitating Art Access for People with Visual Impairment. *Journal of Literary & Cultural Disability Studies*, Vol. 12 (2), 245-247.
- Espinosa-Castañeda, R. & Medellín-Castillo, H. I. (2020). *Virtual haptic perception as an educational assistive technology: a case study in inclusive Education*. IEEE, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.3001586>
- Gkanidi, M.I & Drigas, A. S. (2021). Tactile Maps and New Technologies for Blind and People with Visual Impairments. *International Journal of Management and Humanities (IJMH)*, V. 5, N.º 8, 1-5. doi: <http://doi.org/10.35940/ijmh.E1208.045821>
- Hardwick, A., Furner, D. & Rush, J. (1997). *Tactile Acces for Blind People to Virtual Reality on the Wide Web*. *The Institution of Electrical Engineers*. 1-3. doi: <http://doi.org/10.1049/ic:19970088>
- Hernández, F. (2011). *El museo como espacio de comunicación*. Editorial Trea.
- Hoffman H. G. (1998). Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments. *Proceedings of the IEEE virtual reality annual international symposium '98*, Atlanta, 59-63. doi: <http://doi.org/10.1109/VRAIS.1998.658423>
- Iglesias, R., Casado, S., Gutiérrez, T., Barbero, J.I., Avizzano, C.A., Marcheschi, S. & Bergamasco, M. (2004). Computer Graphics Access for Blind People thoriugh a Haptic and Audio Virtual Environemnt. *The 3rd IEEE International Workshop on Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications*, Subang Jaya, Malaysia 2-3 oct, 13-18. doi: <http://doi.org/10.1109/HAVE.2004.1391874>
- Jeffs, Tara. L. (2009). Virtual Reality and Special needs. *Technology education. Special Issue*, 253-268.
- Kornbrot, D., Penn, P., Petrie, H. /Furner, S. &, Hardwick, A. (2007). Roughness perception in haptic virtual Reality for sighted and blind people. *Perception & Psychophysics*, N.º 69 (4), 502-512. doi: <https://doi.org/10.3758/BF03193907>
- Kreimeier, J. & Götzelmann, T. (2019). First Steps Towards Walk-in-place Locomotion and haptic Feedback in Virtual Reality for Visually Impaired, *CHI 2019*, May 4–9, 2019, Glasgow, Scotland, UK, LBW2214, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1145/3290607.3312944>
- Lontschar, S., Deegan, D.L., Humer, I., Pietroszek, K. & Eckhardt, C. (2020). Analysis of Haptic Feedback and its Influences in Virtual Reality Learning Environments. *6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN 2020)*. Online, June 21-25, 171-177. doi: <http://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155087>
- Manzoo, M. & Vimarlund, V. (2018). Digital technologies for social inclusión of individual with disabilities. *Health and Technology*. N.º 8, 377–390. doi: <https://doi.org/10.1007/s12553-018-0239-1>
- Martins, P. R. (2017). *Museus (In)Capacitantes: deficiência, acessibilidades e inclusão em museus de arte*. Caleidoscópio.

- Matias, A., Dias, A., Gonçalves, C., Vicente, P.N & Mena, A.L. (2021). Science communication for social inclusion: exploring science & art approaches. *Journal of Science Communication*. N.º 20(02) (2021) A05, 1-17. doi: <https://doi.org/10.22323/2.20020205>
- Mesquita, S. & João, M. (2016). Accessibility of European museums to visitors with visual impairments. *Disability & Society*, N.º 31:3, 373-388. doi: <https://doi.org/10.1080/09687599.2016.1167671>
- Mott, M., Cutrell, E., Gonzalez F., Mar, Holz, C., Ofek, E., Stoakley, R. & Ringel Morris, M. (2019). A taxonomy of sound in virtual Reality. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 451-454. doi: <https://doi.org/10.1145/3461778.3462106>
- Nikolakis, G., Tzovaras, D., Moustakidis, S. & Strintzis, M.G. (2004). CyberGrasp and PHANTOM Integration: Enhanced Haptic Access for Visually Impaired Users, *SPECOM'2004: 9th Conference Speech and Computer St. Petersburg, Rusia*. September, 20-22.
- Richard, E., Tihou, A., Richard, P. & Ferrier, J.L. (2006). Multi-modal virtual environments for Education with haptic and olfactory feedback. *Virtual Reality*, N.º 10, 207–225. doi: <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0040-8>
- Rose, F.D, Brooks, B. & Rizzo, A. A (2005). *Virtual Reality in Brain Damage Rehabilitation: Review. Cyberpsychology & Behavior*. V. 8, N.º 3, 241-262. doi: <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.241>
- Rubio-Tamayo, J.L., Gertrudix Barrio, M. & García García, F. (2017). Immersive Environments and Virtual Reality: Systematic Review and Advances in Communication, *Interaction and Simulation. Multimodal Technologies and Interact.* N.º 1, 2-21. doi: <https://doi.org/10.3390/mti1040021>
- Sallnäs, E.L., Rassmus, K. & Sjöström. C. (2000). Supporting presence in collaborative environments by haptic force feedback. *ACM Trans Comput-Hum Interact* 7(4), 461–476. doi: <https://doi.org/10.1145/365058.365086>
- Sánchez, J. & Sáenz, M. (2006). Three-Dimensional Virtual Environments for Blind Children. *CyberPsychology & Behavior*, V. 9, N.º 2, 200-206. doi: <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.200>
- Sánchez, J. (2007). A model to design interactive learning environments for children with visual disabilities. *Educ. Inf. Technol*, N.º 12, 149-164. doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-007-9039-3>
- Sarraf, V. P. (2015). *Acessibilidade em Espaços Culturais: mediação e comunicação sensorial*. EDUC – Editora da PUC – SP.
- Simas, H. (2005). Columbano: Outras leituras. *Arte teoria*, N.º 6, 123-134.
- Siu, A. F., Sinclair, M., Kovacs, R., Ofek, E., Holz, C. & Cutrell, E. (2020). Virtual Reality Without Vision: A Haptic and Auditory White Cane to Navigate Complex Virtual Worlds. *CHI 2020*, April 25–30, 2020, Honolulu, HI, USA, paper 226, 2-12. doi: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376353>
- Sorrell, M., Norton, D., McAdams, J., Winterling, R. & Dipple, K. (2017). Creating an Online Scientific Art Exhibit Formatted for People with a Visual Impairment. *Journal of Web Librarianship*, N.º 11:2, 105-123. doi: <https://doi.org/10.1080/19322909.2017.1300788>
- Swapp, D., Pawar, V. & Loscos, C. (2006). Interaction with co-located haptic feedback in virtual Reality. *Virtual Reality*, N.º 10, 24–30. doi: <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0027-5>.
- Valentim, J. (2004). Imagens crepusculares: Columbano e Raul Brandão no Portugal finisecular oitocentista. *Graçatá Niterói*, N.º 16, 33-49.

- Väyrynen, J., Colley, A. & Häkkinen, J. (2016). Head Mounted Display Design Tool for Simulating Visual Disabilities. *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '16)*, December. Rovaniemi, Finland, 12–15. doi: <https://doi.org/10.1145/3012709.3012714>
- Vercellone, B., Shelestak, J., Dhaher, Y. & Clements, R. (2018). Haptic Interfaces for Individuals with Visual Impairments. *GAME. Game as Art Media Entertainment. The Italian Journal of Game Studies*, N.º 7, 75-89.
- Villamarín, D. & Menéndez, J.M. (2021). Haptic Glove TV Device for People with Visual Impairment. *Sensors* 2021, N.º 21, 2325, 3-27. doi: <https://doi.org/10.3390/s21072325>
- Wang, D., Guo, Y., Liu, S., Zhang, Y., Xu, W. & Xiao, J. (2019). Haptic display for virtual Reality: progress and challenges. *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, N.º 1 (2), 136-162. doi: <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2019.0008>
- Weir, K., Nahar, V., Aggoun, A. & Pollard, A. (2021). Developing a User-Centered Accessible Virtual Reality Video Environment for Severe Visual Disabilities. *Journal on Technology and Persons with Disabilities*, N.º 9, 35-53.
- Zhao, Y., Bennett, C.L., Benko, H., Cutrell, E., Holz, C., Morris, M.R. & Sinclair, M. (2018). Demonstration of Enabling People with visual impairments to Navigate Virtual Reality with a Haptic and Auditory Cane Simulation. *CHI 2018*, April 21–26, Montréal, QC, Canada. D409, 1-4. doi: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173690>