

Accesibilidad y usos positivos aplicados de la realidad extendida para usuarios con movilidad reducida

A. Cañellas-Mayor y L. Aymerich-Franch

Title—Accessibility and positive applied uses of extended reality for users with reduced mobility

Abstract—This article presents the results of exploratory research to examine the accessibility limitations that eXtended Reality (XR) presents for people with reduced mobility. The research used in-depth interviews with experts and the application of the Delphi method. In particular, we explored potential solutions to provide a more accessible and usable XR, and looked at positive applied uses of this technology in terms of improving the well-being of people with reduced mobility. The results will be used to develop a cultural and educational XR prototype.

Index Terms—Educational technology, Research and development, Social implications of technology, Technological innovation, User centered design, Virtual reality

I. INTRODUCCIÓN

LA Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establece claramente que la discapacidad no puede ser un motivo o criterio para privar a las personas de acceso a programas de desarrollo o al ejercicio de los derechos humanos, incluida la educación [1]. De hecho, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) contienen 7 metas que se refieren de forma explícita a las personas con discapacidad (PCD) y otras 6 relativas a las personas en situaciones vulnerables, incluyendo

Este trabajo fue financiado por el Pla de Doctorats Industrials de la Generalitat de Catalunya y la Agencia de Gestión de Ayudas Universitarias y de Investigación (AGAUR) mediante convenio entre la Universitat Pompeu Fabra y la empresa Estudio Bay SLU - VISYON (Grupo Mediapro) con número de expediente 2018 DI 40. Parte de los resultados de esta investigación fueron presentados en la *71st Annual International Communication Association Conference (ICA)*, formato virtual, mayo 2021 y en la *8th European Communication Conference (ECC)* formato virtual, septiembre 2021. Esta contribución forma parte de la tesis doctoral "Accesibilidad y usos positivos aplicados de la realidad virtual, aumentada y mixta para personas con movilidad reducida", con mención a Doctorado Industrial en modalidad de tesis por proyecto aplicado.

Alicia Cañellas-Mayor, Dpto. Comunicación, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España (email: alicia.canellas01@estudiant.upf.edu). (<https://orcid.org/0000-0002-5447-7870>)

Laura Aymerich-Franch, Dpto. Comunicación, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España (email: laura.aymerich@upf.edu). (<https://orcid.org/0000-0001-7627-5770>)

a las PCD, para lograr una sociedad más inclusiva y orientada a la atención a la diversidad. Ya con anterioridad, la Comisión Europea, a través de la Estrategia Europea de Discapacidad 2010-2020, marcaba una Europa libre de barreras para las PCD estableciendo, entre otros aspectos, el fomento de la accesibilidad universal, de cara a reforzar la participación de cualquier persona en la vida social [2].

En la actualidad, el colectivo de PCD constituye cuantitativamente un grupo de personas muy numeroso. Según el último informe extraído de la Encuesta de Discapacidad, Autonomía personal y situaciones de Dependencia (EDAD) publicado por el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), y cuya actualización está prevista publicarse en 2021, en 2008 más de 3.8 millones de personas en España tenían alguna discapacidad, lo que representa casi el 9% de la población. Y, aunque existen multitud de discapacidades con distintos grados de incidencia, según dicho informe, las referentes a limitaciones o reducción de movilidad son de las más representativas, con una incidencia por cada 1.000 habitantes de un 42,6 en hombres y un 77,5 en mujeres [3].

En el ámbito de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), inclusión y atención a la diversidad son factores que van de la mano del concepto de "accesibilidad tecnológica" o digital. Así como el término "accesibilidad" hace referencia a la cualidad de ser "accesible", es decir, de fácil acceso o uso, la "accesibilidad tecnológica" o digital es un término orientado a asegurar que cualquier recurso tecnológico, por cualquier medio digital, esté disponible para todas las personas, tengan o no algún tipo de discapacidad [4].

Podemos decir que las tecnologías que forman parte del llamado "paraguas" de Realidad Extendida (XR, de las siglas *eXtended Reality* en inglés), específicamente, la Realidad Virtual (RV), la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Mixta (RM) [5] representan, con respecto a las anteriores TICs previamente existentes, un nuevo escenario con características específicas y desafíos que deben ser abordados en materia de accesibilidad [6].

Por otro lado, en el contexto educativo, adquiere especial relevancia el término de Tecnologías del Aprendizaje y Comunicación (TACs), un concepto que pretende reconducir el uso de las TICs hacia una dimensión más formativa y pedagógica, al servicio del aprendizaje y de la adquisición de conocimiento [7]. Y es en torno a ambos términos (tanto TICs, como TACs) donde resulta necesario promover especialmente la inclusión y la atención a la diversidad, dado que las

tecnologías juegan un papel muy positivo a la hora de atender las posibles necesidades del alumnado diverso, posibilitando la superación de déficits específicos, potenciando la apertura a nuevos modelos de comunicación del estudiante con su entorno y facilitando su incorporación a la sociedad del conocimiento y/o a su integración sociolaboral [8].

Las oportunidades que presentan las TICs/TACs en general, y las tecnologías XR en particular, por su parte están a su vez asociadas al desarrollo de nuevas innovaciones en hardware y software, mediante dispositivos y aplicaciones que pueden mejorar la calidad de vida, la formación, el ocio y la participación de toda la sociedad, haciendo que dichas tecnologías adquieran un papel fundamental, especialmente respecto a la inclusión de las PCD en numerosos ámbitos de la vida.

La importancia del análisis que presenta este estudio académico radica en el hecho de aunar los retos de las tecnologías XR a nivel de accesibilidad y sus posibles usos positivos aplicados, específicamente y en este caso, para el colectivo de personas con movilidad reducida (PCMR).

Este proyecto parte de la aproximación teórica de la *Positive Technology* o Tecnología Positiva. Esta aproximación pretende promover el desarrollo de tecnologías emergentes con el objetivo de mejorar la calidad de vida y el bienestar físico y/o psicológico de las personas y basa sus principios en la disciplina de la Psicología Positiva [9-10].

El presente estudio, de carácter exploratorio, tiene como objetivos identificar los principales retos y posibles soluciones en materia de accesibilidad tecnológica de la XR para el colectivo de personas con movilidad reducida, así como potenciales usos positivos aplicados de estas tecnologías que puedan ayudar a contribuir en la mejora del bienestar del colectivo.

II. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Ante el panorama anteriormente expuesto y tomando como punto de partida la vinculación entre tecnologías XR, accesibilidad tecnológica y PCD con problemas de movilidad, nos planteamos las siguientes preguntas de investigación (PI):

- PI₁: ¿qué dispositivos de apoyo y características técnicas, en relación con anteriores TICs, podrían considerarse para ser implementadas en las tecnologías XR?
- PI₂: ¿qué limitaciones específicas presentan dichas tecnologías XR para el colectivo de personas con movilidad reducida (PCMR)?
- PI₃: ¿cómo podemos hacer que estas tecnologías sean más accesibles e inclusivas?
- PI₄: ¿de qué manera pueden contribuir positivamente estas tecnologías (mediante determinados usos aplicados), para que el colectivo de PCMR pueda beneficiarse, tanto a nivel social como a nivel educativo?

Este artículo presenta los resultados obtenidos en un estudio exploratorio orientado a proporcionar posibles respuestas en torno a dichas cuestiones. Esta contribución persigue, por tanto, el compromiso de mejorar la adopción, uso e

implicaciones, tanto psicológicas como sociales y educativas, de las tecnologías de la XR, considerando a la par su relación con el conjunto de factores que componen otras áreas de estudio relacionadas con la accesibilidad y usabilidad tecnológica, como son el diseño de interacción, la experiencia e interfaz de usuario y la interacción persona-computadora [11].

III. METODOLOGÍA

A fin de abordar las preguntas de investigación planteadas, se ha utilizado una metodología mixta basada en el método Delphi [12]. El estudio ha recibido la aprobación del *Institutional Committee for Ethical Review of Projects* (CIREP-UPF).

El método Delphi es uno de los que mejor se adapta a la exploración de elementos que implican una mezcla de evidencia científica y valores sociales [13], permitiendo establecer mejor las líneas de investigación posteriores aplicadas al objetivo del proyecto que, en este caso, se ha focalizado en desarrollar un prototipo XR más accesible y usable para el colectivo de estudiantes con movilidad reducida, y que proporcione un ejemplo de uso positivo aplicado para la mejora del bienestar de este colectivo.

En primer lugar, se realizaron 10 entrevistas cualitativas a expertos en el área de movilidad reducida con los siguientes perfiles: profesionales que trabajan con o para personas con movilidad reducida, incluidos/as profesionales pertenecientes al propio colectivo.

En cada entrevista individual presencial, se solicitó al/la entrevistado/a que, previamente, probara diversas demostraciones de realidad virtual, aumentada y mixta para, posteriormente, responder a una serie de preguntas, acerca de cada tecnología XR. En el caso concreto de dos de los/las profesionales participantes, la entrevista se realizó vía email. Uno de ellos ya era conocedor experto de dichas tecnologías y, en el segundo caso, se facilitaron videos explicativos sobre cada una de ellas, dada la imposibilidad de la experta para poder realizar la entrevista de modo presencial.

En cada entrevista se abordaron específicamente temas relacionados con las posibles limitaciones de accesibilidad de las tecnologías XR (a nivel de hardware y software); así como posibles usos positivos aplicados de éstas para el colectivo de personas con movilidad reducida, que pudieran contribuir a mejorar su bienestar. De entre dichos usos positivos, destacó la aplicación de estas tecnologías en los procesos orientados a la formación y/o educación, como más adelante expondremos.

Las preguntas formuladas en las entrevistas fueron, entre otras, las siguientes:

- ¿Qué tecnologías y/o dispositivos de apoyo considera son los más utilizados por el colectivo de personas con movilidad reducida?
- Respecto a las tecnologías de apoyo, ¿qué características técnicas poseen, que considera deberíamos tener en cuenta a la hora de valorar su posible combinación con tecnologías XR (realidad virtual, aumentada y mixta)?

- ¿Qué limitaciones de accesibilidad tecnológica considera que presentan los dispositivos (hardware) de XR para el colectivo y cómo se podrían mejorar?
- ¿Qué limitaciones de accesibilidad tecnológica considera que presentan los contenidos (software) de XR para el colectivo y cómo se podrían mejorar?
- A la hora de navegar, seleccionar opciones, etc. ¿Qué sistemas de control alternativos o complementarios al mando habitual podrían mejorar la accesibilidad XR para la mayor parte del colectivo?
- ¿Qué posibles usos positivos aplicados de la Realidad Virtual, Aumentada y/o Mixta considera que contribuirían, en mayor medida, a mejorar el bienestar de las personas pertenecientes al colectivo?
- A la hora de plantear posibles usos positivos aplicados de la XR que contribuirían a mejorar el bienestar del colectivo: ¿Qué otros puntos clave considera deberíamos tener en cuenta?

Posteriormente, una vez realizadas las 10 entrevistas individuales, se transcribieron todas las aportaciones y se analizó y categorizó la información extraída.

A cada categoría se le asignó su correspondiente codificación, utilizada para la exposición de resultados (ver Tabla I).

En relación con los objetivos de estudio, los datos cualitativos recopilados sirvieron de base para sintetizar posteriormente dicha información y diseñar un cuestionario online que, partiendo de las mismas preguntas formuladas en las entrevistas, ofrecían diferentes afirmaciones basadas en las respuestas dadas por los/as profesionales expertos/as a cada cuestión.

La consecuente segunda ronda Delphi se implementó enviando el cuestionario final generado a cada profesional experto/a entrevistado/a en la primera ronda.

Debían valorar individualmente las diferentes afirmaciones vinculadas a cada pregunta, mediante una escala Likert del 1 al 5, siendo 1 "Totalmente en desacuerdo" y 5 "Totalmente de acuerdo". Se consiguió el 100% de participación. Dichas afirmaciones son las que se exponen en el apartado correspondiente a resultados del presente artículo.

IV. MUESTRA

El panel de profesionales expertos/as participantes, que trabajan con o para el colectivo de PCMR (incluidos profesionales expertos/as pertenecientes al propio colectivo) estuvo compuesto por un profesor del Departamento de Inteligencia Artificial de la UNED, especialista en Diseño de Usuario/Diseño para todos y TIC; un técnico del Departamento de Tecnología Accesible e I+D de la empresa Ilunion (perteneciente al colectivo); el Jefe de proyectos de la Dirección de Accesibilidad Universal de Fundación ONCE, (perteneciente al colectivo); una técnica del Departamento de Tecnología Accesibles de Fundación ONCE (perteneciente al colectivo); una psicóloga clínica y social, experta en integración social y tecnopedagogía (perteneciente al colectivo); un terapeuta ocupacional de la empresa

Tangencial; el Director Nacional de Accesibilidad del grupo empresarial Sifu (perteneciente al colectivo); un responsable legal del grupo empresarial Sifu (perteneciente al colectivo); una asesora de tecnologías de apoyo de la empresa BJ Adaptaciones; y una terapeuta ocupacional del Centro para la Autonomía Personal SIRIUS del Ayuntamiento de Granollers.

Si bien esta muestra discrecional no probabilística y basada en la conveniencia y el juicio de valor de las investigadoras fue pequeña, algunos autores argumentan que un rango entre 5 y 20 participantes, como fue el caso, es suficiente [14].

Estos/as expertos/as, como personas informantes calificadas por sus conocimientos y/o vinculación profesional, académica o personal con el grupo destinatario, los resultados representan la síntesis del pensamiento de un grupo muy especial [15].

V. RESULTADOS

Los resultados de esta fase de entrevistas y cuestionarios Delphi proporcionaron información muy valiosa en relación con los objetivos

iniciales planteados en esta investigación. A su vez, consideramos

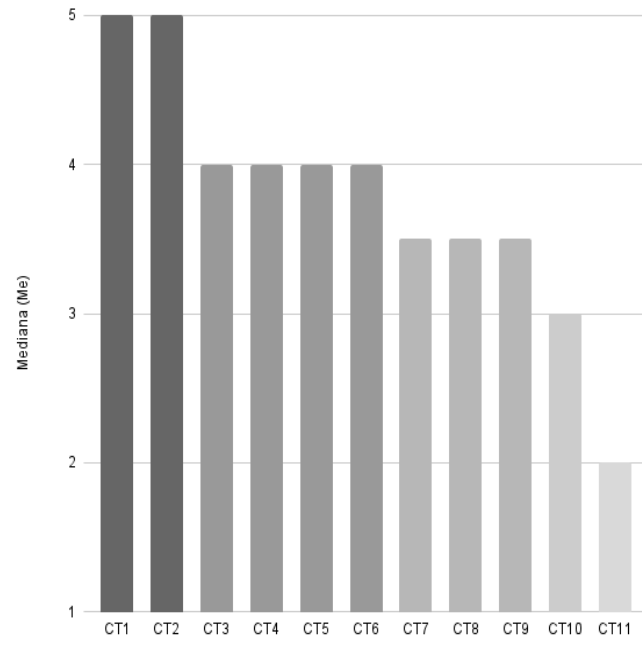


Fig. 2. Características técnicas (CTs) más relevantes de los dispositivos de apoyo (Me).

Dime: (en relación Dispositivo Apoyo)		
Limitacion Accesibilidad		
Soluciones Accesibilidad		
Usos Positivos Aplicados	Usos positivos con Realidad Virtual	(UPRV)
	Usos positivos con Realidad Aumentada o Mixta	(UPRA/RM)
Aspectos Clave (genéricos) de las Tecnologías XR	Otros aspectos clave en el uso de la XR	(ACXR)

que dichos resultados reflejan aspectos importantes y necesarios, a la hora de conceptualizar cualquier solución o acción mediada con tecnologías XR que persiga un uso más inclusivo de éstas, especialmente en cualquier proceso formativo u orientado al ocio.

Para el análisis de resultados, se llevó a cabo un análisis estadístico, utilizando Mediana (Me), que permitió contrastar y determinar los posibles puntos de concordancia en las respuestas, su nivel de consenso y la jerarquía de su importancia, en cada caso [16].

Se reportan a continuación los resultados obtenidos, en relación con cada una de las PI.

A. Identificación de los dispositivos de apoyo más utilizados por el colectivo de PCMR, así como sus características técnicas más relevantes a considerar

En relación con la PI¹, respecto a los dispositivos de apoyo (DAs) más utilizados (ver Fig. 1):

- DA1: el 80% de los/as expertos/as estuvo muy de acuerdo o bastante de acuerdo (Me = 4) en destacar el uso de periféricos adaptados (tipo teclados, joysticks, pulsadores, ratones, etc.) para diferentes partes del cuerpo (ya sea extremidades, boca, cabeza...).
- DA2: el 70% estuvo muy de acuerdo o bastante de acuerdo (Me = 4) en destacar el uso de tecnologías para el desplazamiento (sillas de ruedas eléctrica, manuales, motorizadas o de bipedestación...).

Obtuvieron un nivel de consenso menor (Me = 3.5, 3 y 3, respectivamente): los softwares de reconocimiento de voz (DA3); los de seguimiento ocular (DA4); y los teclados virtuales con sistema de barrido (DA5).

También en relación con la PI¹, respecto a las características técnicas (CTs) de estos dispositivos de apoyo, a considerar su posible implementación en tecnologías XR (ver Fig. 2), los/as expertos/as consideraron preferible que:

- CT1: al utilizarlas se pueda guardar la configuración de accesibilidad personalizada, para que el usuario no tenga que calibrar el dispositivo XR en cada uso (100% totalmente de acuerdo; Me = 5).
- CT2: dichos dispositivos XR, en la medida de lo posible, sean *plug & play* (conectar y funcionar) para maximizar la autonomía de las PCMR en su uso (90% totalmente de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 5).

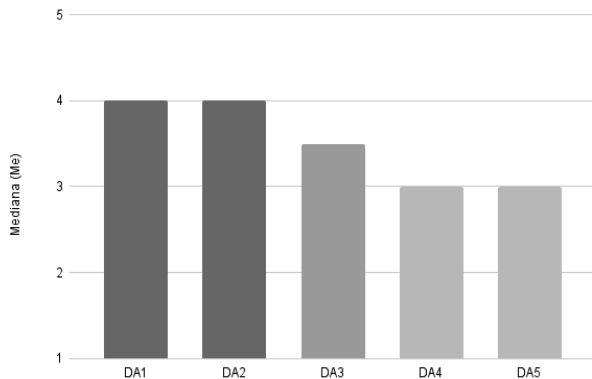


Fig. 1. Dispositivos de apoyo más utilizados (DA) (Me).

Otras posibles características técnicas para considerar, con un menor grado de acuerdo por parte de los/as expertos/as (Me = 4) fueron: la interconexión mediante API específica (CT3); poder disponer normalmente de controles alternativos ya integrados (CT4); y la usual utilización de sistemas de conexión mediante USB (CT5), o bien conexión con Bluetooth (CT6).

También se apreció (Me = 3.5) que la mayoría de los dispositivos de apoyo solo suelen disponer de *Wi-Fi* si se necesita conexión a Internet (CT7); que normalmente requieren poco flujo de datos (CT8); y que suele haber problemas de incompatibilidad respecto al tipo de entradas de conexión (CT9). El uso de conexiones mediante cable tipo *jack* (CT10) o mediante sistemas de radio de corto alcance (CT11), en este tipo de dispositivos, fueron las respuestas menos valoradas con (Me = 3 y 2, respectivamente).

B. Detección de las limitaciones de accesibilidad (a nivel de software y hardware) que las tecnologías XR presentan para el colectivo de PCMR, así como posibles soluciones o mejoras al respecto

En relación con las PI² y PI³, a nivel de limitaciones de dispositivos o hardware (LH) (ver Fig. 3) y sus posibles soluciones (SH):

- LH1 y LH2: el 100% de los/as expertos/as estuvieron muy de acuerdo o bastante de acuerdo en considerar que el peso del visor XR puede resultar excesivo para usuarios sin un control adecuado de cabeza o cuello (Me = 4.5); y un 90% se mostró muy de acuerdo o

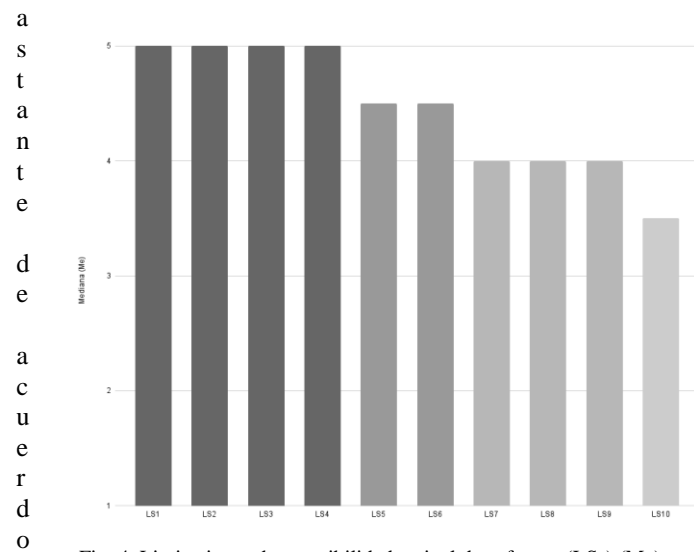


Fig. 4. Limitaciones de accesibilidad a nivel de software (LSs) (Me).

que se necesita la asistencia de un tercero para la colocación de éste (Me = 4.5);

- SH1 y SH2: la limitación referente al control de cabeza/cuello podría mejorarse con algún sistema que aligere o distribuya de algún modo el peso del visor; lo que también podría contribuir a una colocación más autónoma.

- LH3: el 100% estuvo muy de acuerdo o bastante de acuerdo (Me = 4) al considerar también como limitación que el uso del mando utilizado en algunas de las tecnologías XR requiere cierta movilidad y esfuerzo de manos y/o dedos;
 - SH3: podría mejorarse con un diseño del mando más ergonómico y sensible al tacto.
- LH4: y (Me = 4) que manipular dicho mando y una silla de ruedas a la vez, limita mucho al usuario;
 - SH4: este aspecto sería mejorable si se implementara algún sistema de control complementario o alternativo al mando/a las manos.

Por orden jerárquico se establecieron las siguientes alternativas:

1. Periféricos adaptados en función de la movilidad corporal del usuario (70% totalmente de acuerdo y 30% bastante de acuerdo).
 2. Sistema de seguimiento ocular/*eye-tracking*. (50% totalmente de acuerdo y 50% bastante de acuerdo).
 3. Detección mediante movimiento de cabeza o mirada/*gaze*. (40% totalmente de acuerdo y 60% bastante de acuerdo).
 4. Control por reconocimiento de voz (50% totalmente de acuerdo y 30% bastante de acuerdo).
 5. Sistema de barrido (30% totalmente de acuerdo y 60% bastante de acuerdo).
 6. Sistema de biosensores (ondas cerebrales) para ejecutar órdenes: adelante, atrás, arriba, abajo y giro (derecha/izquierda). (30% totalmente de acuerdo y 40% bastante de acuerdo).
- LH5: un 80% se mostró totalmente de acuerdo o bastante de acuerdo (Me = 4) en que los dispositivos XR presentaban pocos canales de entrada;
 - SH5: lo que se podría mejorar incorporando una entrada multimodal que permitiese conectar con otros dispositivos o

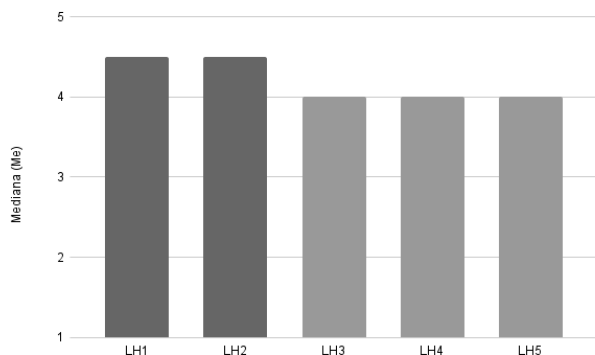


Fig. 3. Limitaciones de accesibilidad a nivel de hardware (LHs) (Me).

smartphones.

En relación con las PI² y PI³, a nivel de limitaciones de contenido o software (LS) (ver Fig. 4) y sus posibles soluciones (SS):

- LS1: el 100% de los/as expertos/as (80% totalmente de acuerdo y 20% bastante de acuerdo) consideró (Me =

5) en que el contenido XR puede presentar limitaciones para usuarios/as que presentan discapacidades múltiples;

- SS1: poder personalizar otras configuraciones complementarias según la discapacidad (por ejemplo: contraste o paleta de colores, tamaños de letra o inclusión de subtítulos, etc.).
- LS2: el 100% de los/as expertos/as (70% totalmente de acuerdo y 30% bastante de acuerdo), consideró (Me = 5) que el contenido XR exige un buen rango de alcance y de movimiento cefálico para su exploración;
 - SS2: este aspecto podría mejorarse con un sistema de asistencia automática virtual que ayude al/la usuario/a a completar todo el rango de alcance/movimiento necesario para la exploración 360°.
- LS3: el 100% de los/as expertos/as (60% totalmente y 40% bastante de acuerdo, respectivamente), consideró (Me = 5) que el contenido o software XR puede presentar limitaciones muy variadas según el perfil de movilidad de cada usuario;
 - SS3: permitir la configuración de diferentes opciones o sistemas alternativos de control (por voz, mirada, barrido, etc.).
- LS4: el 90% (70% totalmente de acuerdo y 20% bastante de acuerdo) consideró (Me = 5) que los sistemas de control por voz puede que no reconozcan el habla afectada e inteligible de algunos usuarios.
 - SS4: esto podría mejorarse simplificando o personalizando de alguna manera los comandos de voz.
- LS5: el 90% (50% totalmente de acuerdo y 40% bastante de acuerdo) consideró (Me = 4.5) que los usuarios con movimientos involuntarios, espasmos o temblores pueden tener dificultades para interactuar con el contenido XR (LS5);
 - SS5: lo que se podría solventar con algún tipo de estabilizador o permitiendo poder aumentar la superficie activa de algunos elementos, como por ejemplo los controles del menú.
- LS6: lo que requeriría de algún sistema para poder permitir la omisión de errores de forma simple.

Siguiendo con el resto de los resultados, por orden de prioridad, otras LSs detectadas (Me = 4) fueron: el hecho de que la distribución de algunos contenidos exige tener que girarse para poder explorarlos (LS7); que el tiempo de reacción (latencia) puede resultar insuficiente para ciertos/as usuarios/s (LS8); y que la configuración del menú está muy prediseñada, cuando sería interesante poderlo personalizar, por ejemplo, a nivel de tamaño y ubicación (LS9).

También se consideró en menor medida (Me = 3.5) que la pérdida de perspectiva del entorno real puede provocar mareo en el usuario al experimentar con RV (LS10).

C. *Determinación de potenciales usos positivos aplicados de las citadas tecnologías XR que puedan contribuir, en base a las necesidades reales del colectivo de PCMR, a una mejora en su bienestar*

En relación con la PI⁴, a nivel de potenciales usos positivos de la Realidad Virtual (UPRV) que pueden mejorar el bienestar del colectivo, los/as expertos/as consideraron los siguientes (ver Fig. 5):

- UPRV1: visibilizar la realidad del colectivo mediante simulación inmersiva, para concienciar y sensibilizar a otras personas (100% muy de acuerdo o bastante de acuerdo)

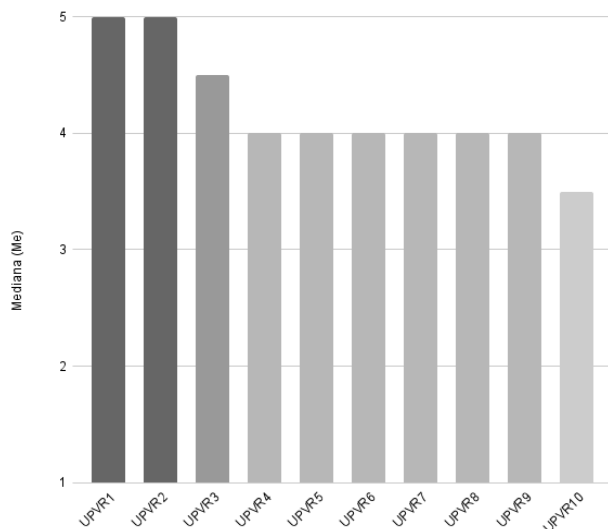


Fig. 5. Posibles usos positivos aplicados de la Realidad Virtual (UPRVs) (Me).

acuerdo; Me = 5).

- UPRV2: practicar actividades de estimulación y procesos de aprendizaje significativo (conocimientos, etc.) o rehabilitación (100% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 5).
- UPRV3: acceder a zonas de difícil acceso para el colectivo de forma inmersiva (p. ej.: espacios naturales, culturales, turísticos, etc.), que no puedan adaptarse arquitectónicamente. Incluso telepresencia mediante *drone* (100% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4.5).

Respecto a otros potenciales usos positivos aplicados de la RV fueron:

- UPRV4: acceder a contenidos o información (p.ej.: libros) o juegos de forma simplificada y asistida virtualmente con estos nuevos soportes (80% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRV5: realizar videoconferencias inmersivas 360° con otras personas que no estén presentes físicamente. (80% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRV6: participar en torneos y ligas de videojuegos y/o *eSports* RV, implementando opciones de accesibilidad para el colectivo. (80% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).

- UPRV7: aprender a controlar la silla de ruedas mediante simulación RV, con variables situacionales (p.ej.: practicar velocidades en paso de cebra, subir rueda delantera sin caer para atrás, mantener equilibrio en rampas pronunciadas...). (70% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRV8: trabajar la autoestima: afrontando situaciones (p. ej.: traumas de accidente); aprendiendo a solucionar problemas (p.ej.: posibles miedos); visualizando en positivo (ámbito deportivo o vida personal), etc. (70% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRV9: Poder realizar actividades de riesgo de forma simulada, como esquiar, escalar, etc. (70% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRV10: realizar prácticas RV de autoescuela para aprender a conducir con las manos un coche adaptado (incluyendo variables situacionales y posibles adversidades: viento, lluvia, etc.). (50% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 3.5).

En relación con la PI⁴, a nivel de potenciales usos positivos de la Realidad Aumentada y Mixta (UPRA/RM), las diferentes propuestas de los/as expertos/as fueron las siguientes (ver Fig. 6):

- UPRA/RM1: controlar el entorno doméstico del domicilio (luces, ventanas, persianas, puertas...) a través de unas gafas AR/MR para aumentar la autonomía personal. (70% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4.5).
- UPRA/RM2: practicar ejercicios de rehabilitación motriz mediante AR/MR sin perder de vista el mundo real. (100% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM3: visualizar información AR/MR complementaria para mejorar procesos formativos (p.ej. tutoriales paso a paso) o laborales (p.ej. instrucciones de procedimientos). (100% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM4: orientarse por la ciudad o cualquier otro tipo de espacio mediante AR/MR, integrando geolocalización y priorizando recorridos accesibles para el colectivo. (90% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM5: proyectar la pantalla del móvil en las gafas AR/MR, y controlarlo con sistemas de interacción alternativos (p. ej. gestos, voz...). (90% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM7: realizar videoconferencias mediante AR/MR mostrando a otras personas que no estén presentes físicamente en formato holograma. (80% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM8: visualizar información complementaria AR/MR para mejorar procesos de desarrollo personal (p.ej.: técnicas y pautas que potencien la autonomía, la gestión emocional, etc.). (70% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 4).
- UPRA/RM9: pilotar la silla de ruedas con unas gafas AR/MR, mediante un selector virtual (mirada o voz)

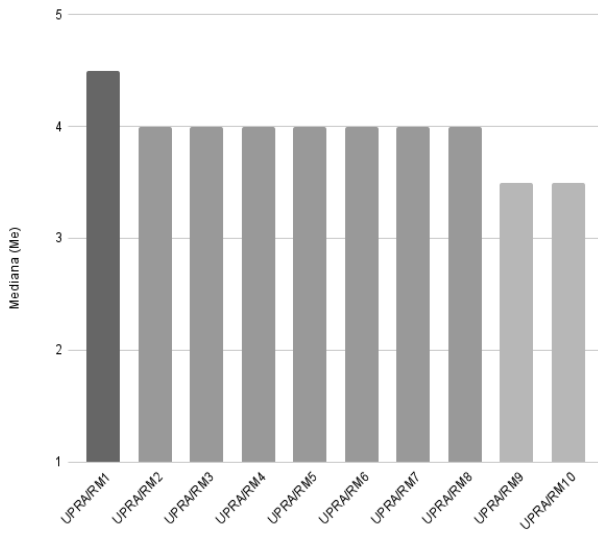


Fig. 6. Posibles usos positivos aplicados de la Realidad Aumentada y Mixta (UPRA/RMs) (Me).

que permita indicar a dónde quieres ir y que la silla se dirija hacia allí. (50% de acuerdo, Me = 3.5).

- UPRA/RM10: visualizar a Alexa con un avatar personificado en RA/RM. (50% muy de acuerdo o bastante de acuerdo; Me = 3.5).

Para finalizar, también en relación con la PI⁴, respecto otros aspectos clave a considerar Con relación al uso de las tecnologías XR (ACXR) en general, con (Me = 4):

- ACXR1: el 90% de los/as expertos/as estuvo totalmente de acuerdo o bastante de acuerdo en que puede ser muy beneficioso a nivel social, laboral y/o formativo el potenciar con tecnologías XR la autonomía de las personas que no se pueden desplazar o salir de casa.
- ACXR2: el 80% estuvo completamente de acuerdo o bastante de acuerdo en que el uso de la XR a nivel de ocio posibilita un crecimiento personal y de satisfacción difícilmente igualable a otras soluciones pensadas para ocupaciones del día a día.
- ACXR3: un 80% también estuvo muy o bastante de acuerdo en el hecho de que el uso de la XR por el colectivo es positivo ya que permite experimentar y ganar en experiencias, condiciona la sensación de ser capaces y fomenta el deseo de querer participar en otras tareas.
- ACXR4: más del 50% indicó estar muy de acuerdo o bastante de acuerdo en que las tecnologías XR pueden hacer que una persona se sienta más incluida en su entorno/sociedad, lo que refuerza su autoconfianza o autoestima y repercute positivamente en su estado/bienestar emocional; y, en última instancia, que las tecnologías XR pueden ayudar a prevenir riesgos al posibilitar el aprender ciertos procedimientos (cómo hacer una transferencia, entrar en la ducha correctamente, etc.).

VI. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio ha permitido, por una parte, detectar las limitaciones más representativas que, en materia de accesibilidad tecnológica, presentan para el colectivo de

PCMR cada una de las tecnologías XR, así como qué posibles soluciones, a nivel de hardware y software, podrían ayudar a mejorar dicha accesibilidad, en cada caso. Por otra parte, ha posibilitado también detectar qué potenciales usos positivos aplicados de estas tecnologías podrían contribuir a mejorar el bienestar del colectivo, así como otros aspectos clave a considerar, con relación a su uso, a nivel general.

Los resultados obtenidos han proporcionado conclusiones de gran utilidad para el planteamiento de la siguiente fase de estudio prevista en el marco de esta investigación. Los próximos pasos, en concreto, se enfocan en crear un prototipo XR accesible para PCMR, para llevar a cabo un estudio comparativo, a nivel de accesibilidad y uso positivo aplicado (vinculado a la aproximación teórica de la *Positive Technology*).

Para el desarrollo de dicho prototipo, se ha concluido seleccionar la tecnología de la RV por sus grandes beneficios demostrados [17-18] de los que todas las personas (independientemente de su diversidad funcional) deberían poder beneficiarse; considerando, entre otros, los siguientes aspectos, basados en los resultados Delphi más representativos y viables a la hora de ser implementados.

El prototipo de RV, a nivel técnico:

- CT1: permitirá guardar la configuración personalizada de cada usuario/a.
- CT2: será, en la medida de lo posible, una solución *plug & play*.
- SH1: se desarrollará para el dispositivo VR *Pico Neo 2 Eye*, ya que distribuye el peso del visor con un contrapeso que lo hace más ligero.
- SH2: dispondrá de un mando ergonómico y sensible al tacto.
- SH3: se configurará para que sólo sea necesario un único mando (por si se requiere utilizar a la vez una silla de ruedas) y, además, se implementarán diferentes sistemas de control complementarios o alternativos a éste (ver SS3).
- SS1: permitirá personalizar la configuración del tamaño de ciertos *assets* o elementos.
- SS2: permitirá activar un sistema de asistencia automática virtual que ayude al/la usuario/a a completar todo el rango de alcance/movimiento cefálico necesario para la exploración 360°.
- SS3: llevará implementados los siguientes sistemas de control complementarios o alternativos al mando, pudiéndose combinar: un sistema de seguimiento ocular (*eye-tracking*), un sistema de detección mediante movimiento de cabeza o mirada (*gaze*) y/o un sistema de control por reconocimiento de voz.
- SS4: presentará comandos de voz simplificados.
- SS5: permitirá al usuario poder aumentar el tamaño de ciertos elementos, para disponer de mayor área de interacción en caso de presentar movimientos involuntarios o temblores.

Respecto a los potenciales usos positivos aplicados del prototipo para el colectivo de PCMR, éste les permitirá poder:

- UPRV2: practicar actividades de estimulación y procesos de aprendizaje significativo (conocimientos, etc.).

- UPRV3: acceder a zonas de difícil acceso para el colectivo de forma inmersiva (p. ej.: espacios naturales, culturales, turísticos, etc.), que no puedan adaptarse arquitectónicamente.
- UPRV4: acceder a contenidos, información o juegos de forma simplificada y asistida virtualmente mediante soporte RV.
- ACXR1: beneficiarse a nivel social, laboral y/o formativo, potenciando la autonomía de las personas que no se pueden desplazar o salir de casa.
- ACXR2: a nivel de ocio, un crecimiento personal y sensación de satisfacción difícilmente igualable a otras soluciones pensada para ocupaciones del día a día.
- ACXR3: experimentar y ganar en experiencias, condicionando su sensación de ser capaces y fomentando el deseo de querer participar en otras tareas.
- ACXR4: sentirse más incluidas en su entorno/sociedad, reforzando su autoconfianza o autoestima y repercutiendo positivamente en su estado/bienestar emocional.

Las conclusiones del presente estudio proporcionan, en su conjunto, nuevas e interesantes vías de exploración, en torno a las limitaciones y posibles soluciones de la XR en materia de accesibilidad, así como potenciales usos positivos aplicados concretos de estas tecnologías para el colectivo de PCMR que, a modo de futuras líneas de investigación aplicada, pueden llevarse a cabo para promover la inclusión, la igualdad de oportunidades y la atención a la diversidad, tanto a nivel académico como profesional, ya sea en contextos formales como informales.

REFERENCIAS

- [1] United Nations, "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", 2015. [En línea]. Disponible: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [2] M. Fernández, L. Chipre, L. and P. Vidal, "Estrategia Europea sobre Discapacidad 2010-2020," in *Serie Monográfico Observatorio de la Discapacidad Física*, no. 6, 2016, p.35.
- [3] Instituto Nacional de Estadística de España (INE), "Informe EDAD", 2008. [En línea]. Disponible: https://www.imserso.es/imserso_01/documentacion/estadisticas/edad_2008/index.htm
- [4] T. Berners-Lee, and M. Fischetti, "Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by its Inventor". San Francisco, CA, USA: Harper, 1999.
- [5] S. Mann, T. Furness, Y. Yuan, J. Iorio, and Z. Wang, "All Reality: Virtual, Augmented, Mixed (X), Mediated (X, Y), and Multimediated Reality", 2018. [En línea]. Disponible: ArXiv,abs/1804.08386.
- [6] M. Montagut, P. Oreó, and S. Fernández, "Immersive media and accessibility: hand in hand to the future," in *ITU Journal: ICT Discoveries*, 2020. [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/journal/S-JOURNAL-ICTS.V3I1-2020-2-PDF-E.pdf
- [7] R. Lozano, "De las TIC a las TAC. Tecnologías del aprendizaje y del conocimiento", en *Anuario ThinkEPI*, Vol. 5, no. 1. pp. 45-47, 2011.
- [8] J. Cabero, "Los medios tecnológicos como elemento curricular para responder a la diversidad del alumnado," en *La Flexibilización Curricular desde el marco de la Atención a la Diversidad del alumnado*. Sevilla, España: Grupo de Investigación Didáctica (GID) y FETE-UGT, 2002.
- [9] C. Botella, G. Riva, A. Gaggioli, B. K. Wiederhold, M. Alcaniz, and R. M. Banos, "The present and future of positive technologies," in

Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 2012, 15(2), pp. 78-84.

- [10] G. Riva, R. M. Banos, C. Botella, B. K. Wiederhold, and A. Gaggioli, "Positive technology: using interactive technologies to promote positive functioning," in *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 2012, 15(2), pp. 69-77.
- [11] G.M. Re, and M. A. Bordegoni, "A natural user interface for navigating in organized 3D virtual contents," in *Int. Conf. on Virtual, Augmented and Mixed Reality*. New York, NY, USA: Springer International Publishing, 2014.
- [12] T. Webler, D. Levine, H. Rakel, and O. Renn, "A novel approach to reducing uncertainty: The group Delphi," in *Technological Forecasting and Social Change*, 39 (3), 1991, pp. 253-263. doi:10.1016/0040-1625(91)90040-M.
- [13] G. Rowe, and G. Wright, "Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi Technique," in *J. Armstrong (Ed.). Principles of Forecasting*, 2001, pp. 125-144.
- [14] T. J. Gordon, "The Delphi Method. AC/UNU Millennium Project. Futures Research Methodology", 1994. [En línea]. Disponible: http://www.gerenciamento.ufba.br/downloads/delphi_method.pdf
- [15] J. I. Ruiz Olabuénaga, "Técnicas de triangulación y control de calidad en la investigación socioeducativa," en *Bilbao, Mensajero*, 2003.
- [16] L. Aymerich-Franch, "Avatar embodiment experiences to enhance mental health," en *Technology and Health. Academic Press*, 2020, pp. 49-66.
- [17] M. Slater, and M. V. Sanchez-Vives, "Enhancing our lives with immersive virtual reality," in *Journal Frontiers in Robotics and AI*, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2016.00074>



Alicia Cañellas-Mayor es Licenciada en Pedagogía por la Universidad de Barcelona (UB). Candidata a Doctorado Industrial en Comunicación (2019-2022) en la Universidad Pompeu Fabra (UPF), en convenio con VISYON (Grupo Mediapro). Actualmente ella está finalizando su tesis "Accesibilidad y usos positivos aplicados de la realidad virtual, aumentada y mixta para personas con movilidad reducida". Forma parte del grupo de investigación *Communication, Advertising and Society* (CAS). Es docente colaboradora en el Máster de Neuromarketing de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) desde 2018. Autora del MOOC "Realidad Virtual en Educación" (promovido por el INTEF del Ministerio de Educación y Cultura del Gobierno de España). Posee más de 18 años de experiencia en el campo del diseño instruccional e-learning y más de 7 años en la coordinación de proyectos vinculados a immersive learning, tecnologías XR y educación. Fundadora y Consultora de Formación e Innovación en aCanelma® desde 2006.



Dra. Aymerich-Franch, actualmente investigadora Ramón y Cajal en el Dpto. de Comunicación de la Universitat Pompeu Fabra. Recientemente, fue investigadora visitante en el MIT Media Lab, Massachusetts Institute of Technology (2018/19). Anteriormente, fue investigadora postdoctoral Marie Curie IOF (financiada por la Comisión Europea) en el Experimental Virtual Environments for Neuroscience and Technology (EventLab), Universitat de Barcelona (2016/17), y en el CNRS-AIST Joint Robotics Laboratory, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japón (2014/16). Antes de eso, fue investigadora postdoctoral Fulbright en el Virtual Human Interaction Lab de la Universidad de Stanford (2012/14). Obtuvo un doctorado cum laude en Comunicación Audiovisual por la Universitat Autònoma de Barcelona (2010). Su investigación promueve el uso de tecnologías emergentes, en particular, robots sociales y realidad virtual, para la mejora del bienestar psicológico.