

garantizar la gestión imparcial del manuscrito. Los demás autores declaran no tener otros conflictos de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jiménez-Quevedo P, Muñoz-García A, Trillo-Nouche R, et al. Evolución temporal en el tratamiento transcatheter de la estenosis aórtica: análisis del registro español de TAVI. *REC Interv Cardiol.* 2020;2:98-105.
2. Cuesta J, Bastante T, Alfonso F. Marcapasos sin cables Micra tras implante de prótesis valvular aórtica percutánea. *Med Clin (Barc).* 2020;154:239-240.
3. Moore S, Chau K, Chaudhary S, et al. Leadless pacemaker implantation: A feasible and reasonable option in transcatheter heart valve replacement patients. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2019;42:542-547.
4. Okuyama K, Izumo M, Sasaki K, et al. Comparison in clinical outcomes between leadless and conventional transvenous pacemaker following transcatheter aortic valve implantation. *J Invasive Cardiol* 2020;32:400-404.

<https://doi.org/10.24875/RECIC.M22000318>

Aplicaciones de las realidades extendidas en cardiología intervencionista: la realidad mixta aplicada al procedimiento TAVI



Use of extended realities in interventional cardiology: mixed reality for TAVI procedure

Alfredo Redondo^{a,b}, Carlos Baldrón^{a,c}, Javier M. Aguiar^d, José Ramón González Juanatey^{b,c}, Alberto San Román^{a,c} e Ignacio J. Amat-Santos^{a,c,*}

^a Servicio de Cardiología, Hospital Clínico Universitario de Valladolid, Valladolid, España

^b Servicio de Cardiología, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España

^c Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Cardiovasculares (CIBERCIV), España

^d Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad de Valladolid, Valladolid, España

Sr. Editor:

Una novedosa vertiente en la visualización de imágenes médicas son las conocidas como realidades extendidas, término que engloba distintas tecnologías: realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta. De ellas, la más reciente es la realidad mixta. La característica distintiva de los visores de realidad mixta es su capacidad para percibir el mundo real y fusionar en él modelos virtuales que pueden complementar las fuentes de información disponibles de forma habitual. *A priori*, las posibilidades de su aplicación en el campo de la medicina son múltiples, siendo especialmente interesante su integración en procedimientos quirúrgicos e intervencionistas. En la actualidad, la principal limitación para su aplicación clínica es que no hay en el mercado presentaciones comerciales para usuario y en cada caso de uso concreto se deben desarrollar soluciones específicas.

En el contexto del proyecto de investigación «sala de Hemodinámica aumentada cON 3D» (Proyecto HAMMOND) se ha realizado una experiencia clínica preliminar de integración de las gafas de realidad mixta HoloLens 2 (Microsoft, Estados Unidos) (figura 1) en la práctica del intervencionismo cardiaco. Previa aprobación del comité de ética de la investigación (CASVE-PI-GR-20-2001), se desarrolló una aplicación de realidad mixta para la asistencia en cateterismos cardiacos y se ensayó su uso en 9 pacientes tratados con implante percutáneo de válvula aórtica (TAVI).

A continuación, se muestran los resultados descriptivos de esta experiencia inicial en la aplicación de realidad mixta en las distintas



Figura 1. Visor de realidad mixta extendida HoloLens 2.

fases de los procedimientos de TAVI, ilustrados en la figura 1 y el vídeo 1 del material adicional:

- Apoyo en el guiado de la punción vascular: se generaron hologramas con la imagen de ecocardiograma en tiempo real (figura 2A). De esta forma, el operador, mediante la creación de «pantallas» virtuales de gran tamaño y dispuestas en una posición cómoda, puede visualizar simultáneamente sus manos y el soporte de imagen. La buena resolución y la escasa latencia del sistema empleado nos permitió obtener el acceso arterial

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jjamat@gmail.com (I.J. Amat Santos).

[@ignamatsant](https://twitter.com/ignamatsant)

Online: 14-07-2022.

2604-7306 / © 2022 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Permanyer Publications. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND 4.0.

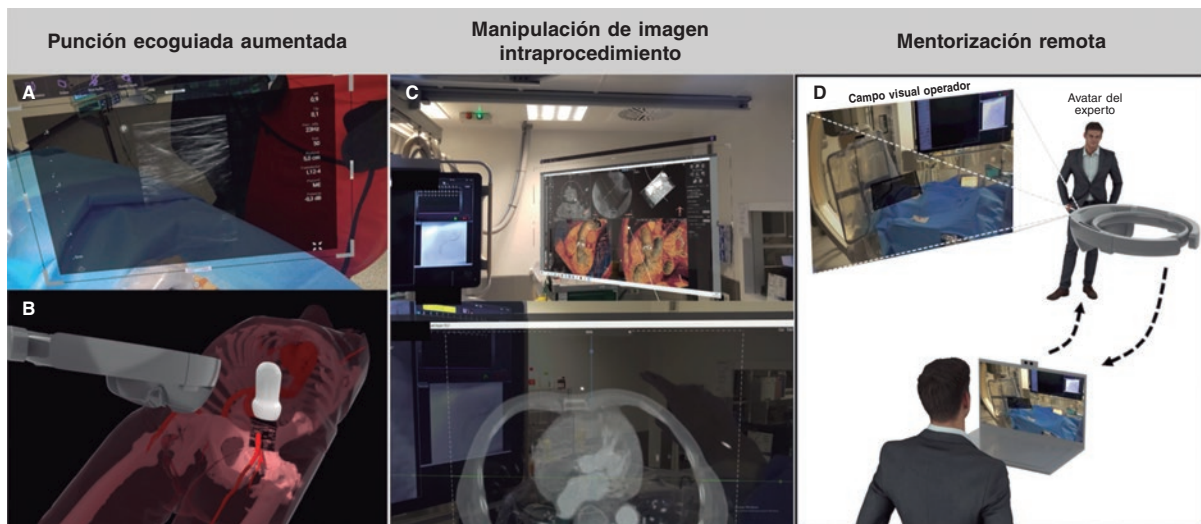


Figura 2. A: integración de la ecografía vascular durante la punción. B: representación esquemática de la integración simultánea en la punción vascular¹. C: imagen del *software* de análisis de tomografía computarizada manipulable en condiciones de asepsia. D: simulación de mentorización remota.

guiado por ecografía visualizada en las gafas HoloLens 2 en 5 casos consecutivos. Se identificó una principal posibilidad de mejora en la que ya se está trabajando: la integración de la imagen de ecografía con la sonda de ecografía, de modo que los hologramas se visualicen en la posición «real» hacia el interior del paciente (figura 2B). En la actualidad ya existen experiencias piloto con este tipo de integración¹, como la punción guiada por hologramas con fusión de imagen de tomografía computarizada (TC). Se ha descrito la utilización de hologramas de órganos realizados por TC que se superponen sobre la anatomía real del paciente, lo que permite simplificar procedimientos vasculares complejos².

- Interacción con imagen de TC en condiciones de asepsia: la capacidad de los visores de realidad aumentada para ser controlados por comandos de voz o mediante las manos del usuario (como se muestra en el vídeo 1 del material adicional) permite que el operador pueda consultar distintas fuentes de información, sin perder la esterilidad ni interferir con el procedimiento. En la figura 2C y en el vídeo 1 del material adicional se muestra esta aplicación con la consulta intraprocédimento de la TC del paciente en el *software* 3mensio (Pie Medical Imaging, The Netherlands).
- Supervisión remota de procedimientos: la mentorización remota se ha evidenciado como una herramienta extremadamente útil durante la pandemia de COVID-19^{3,4}. En nuestra experiencia unicéntrica con 9 casos, que incluyen 4 procedimientos de prótesis aórtica percutánea, 3 procedimientos de prótesis bicava para insuficiencia tricúspide y 2 oclusiones coronarias crónicas, la imagen y el sonido captados por los visores HoloLens 2 pueden ser transmitidos en tiempo real al experto conectado de forma remota, que de este modo puede ver no solo la imagen de ecografía y la ecografía, como ocurre en la mentorización remota convencional (teleconferencia), sino también el punto de vista del operador. Además, el mentor puede controlar la información disponible en las ventanas virtuales que ve el operador, como por ejemplo la estación de trabajo del TC. Alternativamente, existen distintas soluciones de telepresencia y comunicación remota, como el *software* Mesh (Microsoft, Estados Unidos), que hacen posible que el operador visualice al mentor como un holograma en tiempo real (figura 2D).

La tecnología de realidad mixta está dando sus primeros pasos en cuanto a su incorporación a procedimientos quirúrgicos e intervencionistas. Nuestra incipiente experiencia pretende reflejar mediante metodología científica la experiencia clínica real actual aplicada a procedimientos TAVI, más allá de los potenciales beneficios de esta tecnología en el futuro.

Las limitaciones identificadas para facilitar su aplicación en la cardiología intervencionista residen fundamentalmente en la complejidad para realizar la integración de la imagen de ecografía en tiempo real a modo de holograma sobre las estructuras del paciente. La mejoría de este aspecto requiere avances tanto en el *software* (con el desarrollo de aplicaciones específicamente diseñadas para el uso de esta tecnología en cardiología intervencionista) como en el *hardware* (facilitando la referenciación espacial de los hologramas y el paciente).

En conclusión, la realidad mixta podría mejorar la integración de las distintas técnicas de imagen durante las intervenciones cardiovascularmente en nuestros pacientes y permite al operador centrar su atención en un solo punto de trabajo, lo que tiene el potencial de optimizar los parámetros de seguridad del paciente. Dadas estas ventajas y el hecho de que la tecnología por fin está alcanzando un estado de madurez y un precio asequible, la continuidad de esta línea de trabajo podría ser crucial para el avance de la cardiología intervencionista.

FINANCIACIÓN

El Proyecto HAMMOND recibió una beca de la Gerencia Regional de Salud de Castilla y León (GRS 2275/A/2020) y del Instituto de Salud Carlos III (DTS21/00158).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

A. Redondo e I.J. Amat-Santos contribuyeron sustancialmente a la concepción y el diseño, la adquisición de datos y su análisis e interpretación. C. Baldrón y J.M. Aguiar contribuyeron al diseño, la adquisición de datos y su interpretación. J.R. González Juanatey y A. San Román dieron la aprobación final. Todos los autores realizaron una revisión crítica del contenido intelectual

y asumen las responsabilidades sobre la exactitud y la veracidad del trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

MATERIAL ADICIONAL



Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en <https://doi.org/10.24875/RECIC.M22000318>.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nguyen T, Plishker W, Matisoff A, Sharma K, Shekhar R. HoloUS: Augmented reality visualization of live ultrasound images using HoloLens for ultrasound-guided procedures. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2022; 17:385-391.
2. Pratt P, Ives M, Lawton G, et al. Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels. *Eur Radiol Exp.* 2018;2:2.
3. Arslan F, Gerckens U. Virtual support for remote proctoring in TAVR during COVID-19. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2021;98:E733-E736.
4. Mahajan AP, Inniss DA, Benedict MD, et al. International Mixed Reality Immersive Experience: Approach via Surgical Grand Rounds. *J Am Coll Surg.* 2022;234:25-31.