



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Lote 1: ADV5G-IMM-EDGE

Resumen del proyecto

Versión 1.0

Autores principales	Adrian Rodrigo Castillo Ana Cristina Mendiola Gómez
Entregado	31/08/2025

Avanzando-5G-Inmersivo-Holográfico (TSI-063000-2021-109)

Resumen de proyecto, objetivos y casos de uso

El proyecto **AVANZANDO-5G-INMERSIVO** (*Advancing 5G for Immersive Holographic, Telepresence and Haptics Communications towards 6G*) ha logrado **crear un laboratorio inmersivo para aplicaciones 5G/6G en la Universidad Politécnica de Valencia** (UPV). Estas aplicaciones permiten la convergencia del mundo físico con el mundo virtual e implican el uso de tecnologías disruptivas como la holografía, telepresencia, realidad virtual/aumentada y las comunicaciones avanzadas 5G/6G. **El proyecto ha sido financiado a través de fondos europeos mediante el programa UNICO 5G I+D, dentro del marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.**

En el marco del proyecto AVANZANDO-5G-INMERSIVO, se encuentra el subproyecto **Avanzando-5G-Inmersivo-Holográfico (TSI-063000-2021-109)**, el cual se focalizó en investigar e implementar **aplicaciones y/o casos de uso de las comunicaciones holográficas. Dos de las actividades comprendidas en este subproyecto son AVANZANDO-5G-INMERSIVO-EDGE-A8: Captación, procesado y transmisión de hologramas volumétricos y AVANZANDO-5G-INMERSIVO-EDGE-A10: Optimización de Edge y Cloud.** En concreto, estas actividades investigaron la utilización de tecnología holográfica (captura volumétrica 360 grados) en tiempo real y bajo demanda utilizando redes 5G avanzadas, así como la optimización de la captura y transmisión de dichos contenidos. Para este proyecto, se desarrollaron aplicaciones específicas para varios casos de uso como educación y entretenimiento.

Los principales objetivos alcanzados se detallan a continuación:

- Validar la viabilidad técnica de las comunicaciones holográficas
- Explorar aplicaciones potenciales de holografía en entornos reales
- Analizar la percepción y aceptación por parte de los usuarios
- Obtener métricas de rendimiento (KPIs) y realizar transmisiones holográficas mediante redes 5G avanzadas

Los casos de uso diseñados y desplegados durante el proyecto fueron:

- UC1: Holograma en tiempo real para docencia
- UC2: Holograma bajo demanda para docencia
- UC3: Holografía bajo demanda para entretenimiento
- UC4: Percepción del holograma propio y ajeno

Cada piloto con usuarios ha permitido observar el impacto de la representación tridimensional identificando tanto beneficios como limitaciones técnicas. El proyecto concluye que la holografía tiene un alto potencial, especialmente en contextos educativos y sociales, aunque requiere mejoras en calidad visual, estabilidad técnica y diseño de experiencia. Adicionalmente, las redes 5G avanzadas han demostrado ser capaces de soportar comunicaciones holográficas, aunque con ciertas limitaciones que probablemente sean resueltas por las redes del futuro.

Diseño del sistema de captura y transmisión de hologramas

El componente clave del laboratorio holográfico desplegado durante este proyecto es un set de captura volumétrica de última generación, que permite capturar en tiempo real a una persona en 360 grados. Esto permite generar un holograma de alta calidad y fiel a la realidad de un sujeto, que luego puede ser insertado en entornos de realidad virtual o aumentada.

Este set está formado por 13 cámaras con capacidad para capturar tanto video RGB como profundidad, además de audio sincronizado. El set cuenta además con una habitación croma, iluminación específica para el set y una estación de trabajo donde se realiza el procesamiento de imagen y sonido con un software especializado.

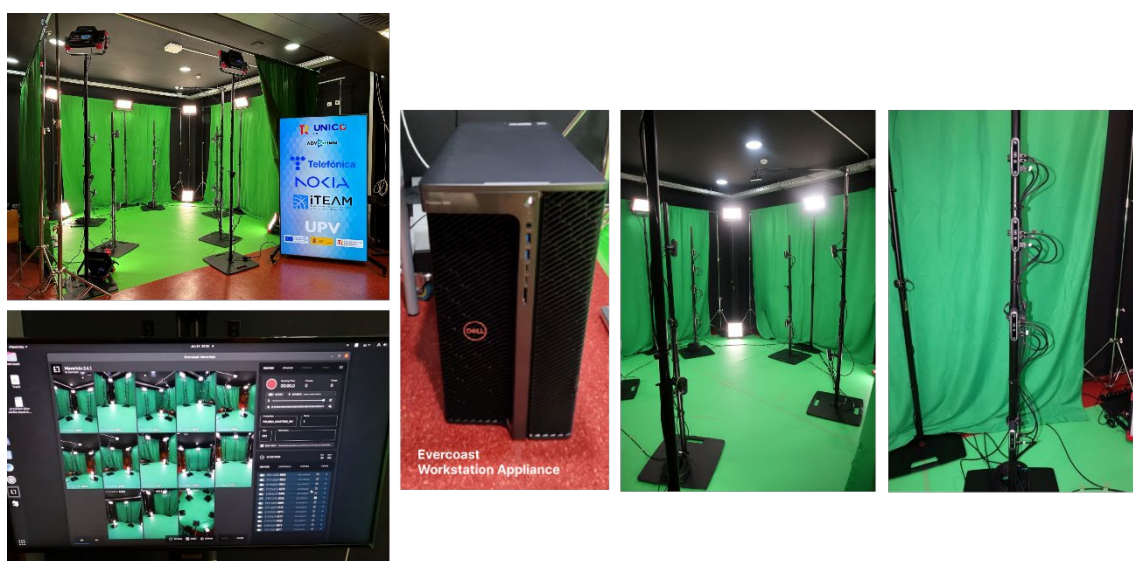


Ilustración 1. Imágenes del set de captura volumétrica.



Ilustración 2. Imágenes de caso de uso de educación inmersiva, con los hologramas generados abajo a la izquierda.

Aplicaciones desarrolladas

Para la realización de los diferentes casos de uso, durante el proyecto se desarrollaron aplicaciones específicas de realidad virtual o aumentada. Estas aplicaciones integran bien en tiempo real o bajo demanda los hologramas generados por el sistema de captura volumétrica. Las aplicaciones están mayoritariamente dirigidas a ser utilizadas con gafas Meta Quest, para aprovechar la posibilidad de percibir el contenido de manera estereoscópica y que la visualización de los hologramas sea lo más realista posible.

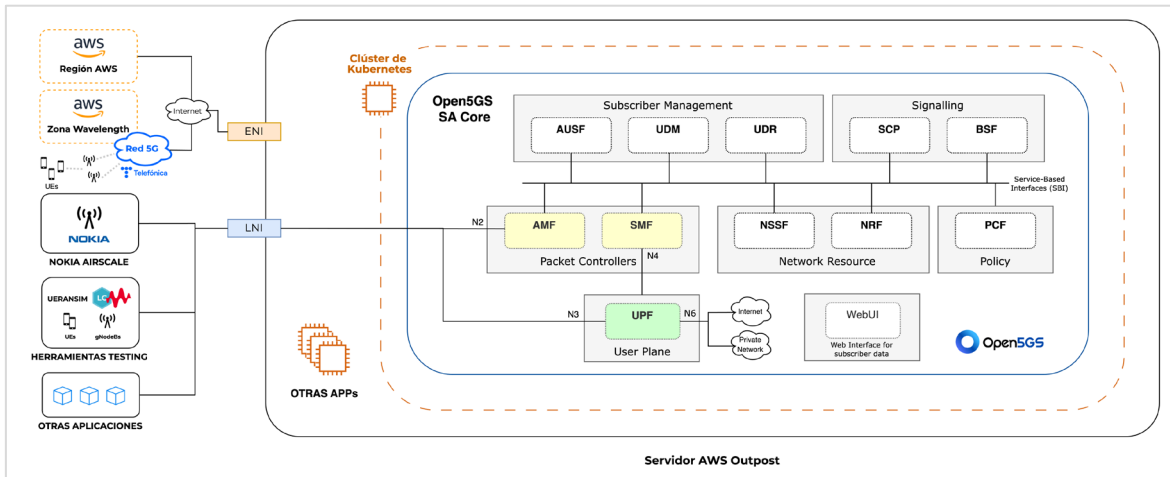
A continuación, se muestran las aplicaciones desarrolladas.

Aplicación	Caso de uso	Descripción	Plataforma
Visita virtual del laboratorio	UC1: Holograma en tiempo real para docencia	Gemelo digital de laboratorio inmersivo con holograma en tiempo real integrado	Unity en Meta Quest
Holograma fallero	UC2: Holograma bajo demanda para docencia	Pequeño escenario con holograma bajo demanda integrado	Unity en Meta Quest
Reanimación cardiopulmonar	UC2: Holograma bajo demanda para docencia	Escenario médico con holograma bajo demanda integrado	Unity en Meta Quest
Web de contenido navideño	UC3: Holografía bajo demanda para entretenimiento	Aplicación web con varios hologramas bajo demanda integrados	Web, smartphone
VRHolog	UC4: Percepción del holograma propio y ajeno	Pequeño escenario con holograma en tiempo real integrado y desplegable donde se pueden seleccionar diferentes hologramas bajo demanda	Unity en Meta Quest

Red 5G y diseño del sistema Edge

La UPV ha dotado al laboratorio inmersivo con una femtocelda 5G para proporcionar cobertura interior al sistema de captura holográfica. Esta red 5G privada y auto operada trabaja en la banda n78 de 3.6 GHz con 100MHz de ancho de banda. Para los casos de uso realizados en este proyecto, la red se configuró de manera que proporcionase el máximo rendimiento al sistema de captura holográfico, de manera que puedan realizarse *streamings* en tiempo real de hologramas realistas.

Para complementar la red 5G disponible, el proyecto desplegó un sistema avanzado de Edge computing completamente integrado, aprovechando las capacidades de virtualización y administración de AWS y otras tecnologías como Kubernetes. La utilización del núcleo de red Open5GS permite el despliegue de contenedores mediante el uso de RKE2.



Gracias a esta arquitectura, fue posible disponer de dos componentes vitales para el desarrollo del proyecto:

- Servidor de *streaming* en tiempo real. Este servidor integrado dentro del sistema Outpost tiene la función de poner a disposición de los dispositivos clientes (Gafas Meta Quest) el *streaming* en tiempo real generador por el set de captura volumétrica. Permite acceder al contenido con una IP pública, lo que permite la recepción en diferentes tipos de escenarios.
- Servidor de almacenaje de contenido y *streaming* bajo demanda. Este servidor integrado dentro del sistema Outpost tiene la función de poner a disposición de los dispositivos clientes *streaming* bajo demanda. El contenido bajo demanda se graba en el set de captura volumétrica, para más tarde subirlo al servidor de almacenaje. Este servidor entonces, permite que las aplicaciones cliente puedan acceder a este contenido mediante una IP pública.

Experimentos y demostraciones finales

(TRACK A8)

Se llevaron a cabo cuatro pilotos experimentales que permitieron validar la viabilidad técnica y la experiencia de usuario en distintos contextos de consumo de contenido holográfico:

- **UC1: Holograma en tiempo real para docencia**
Se realizó un estudio exploratorio con estudiantes universitarios, comparando la experiencia de aprendizaje entre contenidos impartidos por un docente en formato holográfico 3D en VR y su equivalente en vídeo 2D. Las sesiones se

desarrollaron en el iTEAM de la UPV, con lecciones sobre lengua de signos y resolución de un cubo de Rubik. Se evaluaron indicadores de calidad, comprensión y atención mediante pruebas y formularios estructurados así como entrevistas.

- **UC2: Holograma bajo demanda para docencia**
Este piloto se centró en contenidos formativos de peluquería, grabados en formato volumétrico y vídeo estándar. Se ejecutó durante las jornadas de puertas abiertas del Centenario de Telefónica, con más de 60 participantes. Se evaluó la percepción de realismo, implicación y aceptación tecnológica en entornos de formación práctica, utilizando gafas VR y pantallas convencionales.
- **UC3: Holografía bajo demanda para entretenimiento**
Se diseñó una experiencia holográfica navideña protagonizada por Papá Noel, accesible desde dispositivos móviles mediante WebAR. El piloto se desplegó en entornos domésticos y se complementó con entrevistas online. Se analizaron aspectos como disfrute, conexión emocional, facilidad de uso y potencial de escalado para campañas futuras
- **UC4: Percepción del holograma propio y ajeno.**
Los participantes generaron y visualizaron sus propios hologramas, así como los de otros compañeros, en un entorno controlado con gafas de realidad aumentada. Se exploraron emociones como curiosidad o incomodidad, y se evaluó la autenticidad, calidad técnica y capacidad de comunicación no verbal en dinámicas como juegos de mímica.

Cada piloto se diseñó bajo una metodología centrada en el usuario, combinando evaluación cuantitativa (QoE) y exploración cualitativa. Los resultados obtenidos ofrecen una base para futuras aplicaciones en educación, entretenimiento y comunicación remota.

Resultados Track A10

Resultados

- Resultados de calidad de experiencia (Track A8)

A continuación se comparten los resultados principales de cada piloto experimental:

- **UC1: Holograma en tiempo real para docencia**
El uso de hologramas en directo mediante VR generó interés y atención sostenida, especialmente en contenidos con fuerte carga gestual como la lengua de signos. Sin embargo, los participantes valoraron más positivamente el formato tradicional (videollamada) en términos de calidad de imagen, sonido y comprensión. Se identificaron limitaciones técnicas asociadas al streaming volumétrico en tiempo real, como baja resolución, latencia y fatiga visual por el uso prolongado de gafas VR. A pesar de ello, se reconoce el valor pedagógico del 3D para enseñar procesos manuales y gestuales, destacando su potencial si se mejora la calidad visual y la ergonomía de uso.
- **UC2: Holograma bajo demanda para docencia**

El formato holográfico pregrabado en VR fue valorado como más inmersivo y atractivo, especialmente para contenidos prácticos como la peluquería tradicional. No obstante, el vídeo convencional obtuvo mejores puntuaciones en calidad técnica (imagen y sonido), facilidad de uso y comprensión. Los cortes en la reproducción, la navegación poco intuitiva y la falta de fluidez del sistema afectaron negativamente la experiencia. Aun así, se observó una intención de uso positiva, especialmente entre adultos y perfiles sin experiencia previa, y se identificaron oportunidades en formación técnica, medicina, y manualidades. La aceptación fue alta pese a las barreras técnicas.

- **UC3: Holografía bajo demanda para entretenimiento**

La experiencia navideña con Papá Noel en WebAR fue bien recibida por los usuarios, quienes destacaron la originalidad, el disfrute y la conexión emocional. Aunque se identificaron retos técnicos en la estabilidad y calidad visual, la propuesta fue vista como una herramienta atractiva para campañas de marketing y entretenimiento familiar. La facilidad de acceso desde dispositivos móviles fue clave para su aceptación

- **UC4: Percepción del holograma propio y ajeno.**

Los usuarios mostraron una alta aceptación de la tecnología, con emociones predominantemente positivas (curiosidad, comodidad, entusiasmo). La percepción del holograma propio fue algo más desconcertante que la del ajeno, especialmente por la baja expresividad facial y cierta disonancia con la autoimagen. La interacción fue percibida como sencilla, y las acciones representadas por otros fueron interpretadas con claridad. Se señalaron riesgos asociados a la identidad digital (falsificación, suplantación), pero también se identificaron usos prometedores en educación, autoevaluación y comunicación personalizada. La tecnología fue vista como viable y con alto potencial si se mejora la fidelidad visual.

Resultados (Track A10)

Trabajo futuro

A partir de los resultados obtenidos, se han identificado varias líneas prioritarias para consolidar el desarrollo y la aplicación real de las comunicaciones holográficas:

- **Despliegues en entornos educativos.** Se propone realizar pilotos a mayor escala en centros formativos con contenido de disciplinas prácticas con fuerte carga gestual, con redes optimizadas que permitan el streaming volumétrico sin interrupciones. Esto permitirá validar la viabilidad operativa y recoger datos más robustos sobre el impacto pedagógico.
- **Formatos híbridos y multiplataforma.** Se plantea investigar soluciones que combinen realidad aumentada, virtual y pantallas volumétricas, adaptadas a distintos perfiles y contextos. Esta flexibilidad facilitará la integración de la tecnología en entornos domésticos, educativos y profesionales.

- **Optimización técnica de la cadena de captura-visualización.** Se requiere mejorar aspectos como resolución, expresividad facial, sincronización gestual y estabilidad del contenido para aumentar el realismo y reducir barreras técnicas.
- Diseño pedagógico específico para contenidos **holográficos.** Es fundamental repensar la narrativa, interacción y estructura de los contenidos educativos para aprovechar las posibilidades del contenido volumétrico en entornos tridimensionales. Esto implica diseñar secuencias narrativas adaptadas al ritmo tridimensional, fomentar la exploración activa y evitar la simple adaptación de vídeos tradicionales a nuevos formatos.
- Evaluación longitudinal del impacto. Más allá de la experiencia puntual, es clave analizar el efecto sostenido de los hologramas en el aprendizaje, la memoria, la comunicación o la percepción del yo. Se proponen estudios longitudinales que acompañen a usuarios durante procesos reales, proporcionando datos más profundos y representativos.