

INCLUVERSO 5G

Tecnologías de realidad exteNdida y Comunicaciones para la incLUsión de personas en situación de VulnERabilidad psicoSOcial mediante redes 5G avanzadas



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



UNICO
I+D

Entregable E4.3

Evaluación del caso de uso de Teleformación y validación del INCLUVERSO 5G

Parte II

Validación del INCLUVERSO 5G

ÍNDICE

1	Validación de la tecnología del INCLUVERSO 5G.....	4
1.1	Pruebas finales de la plataforma XR sobre la red 5G	4
1.1.1	Escenario 1: Teleportación Virtual (Virtual Teleportation).....	5
1.1.2	Escenario 2: Procesamiento delegado de Realidad Mixta (<i>Mixed Reality computation offloading</i>)	10
1.1.3	Escenario 3: Regulación Emocional (<i>Emotion Regulation</i>)	14
1.1.4	Grado de madurez tecnológica	18
1.2	Cumplimiento de los objetivos técnicos específicos del proyecto	21
1.2.1	OTE1: Desarrollo de tecnología de red 5G Avanzada para el despliegue de servicios de Realidad Extendida (XR)	21
1.2.2	OTE2: Desarrollo de una plataforma de aplicaciones 5G de Realidad Extendida accesible e inclusiva	22
1.2.3	OTE3: Co-diseño y validación de la tecnología 5G y XR desarrollada en casos de uso que mejoren la inclusión de personas con vulnerabilidad psicosocial	23
1.3	Recomendaciones y lecciones aprendidas para el desarrollo futuro de la tecnología	25
1.3.1	Diseño de aplicaciones y servicios XR en instituciones de atención..	25
1.3.2	Despliegue de aplicaciones y servicios XR en instituciones de atención psicosocial y otros verticales.....	30
2	Calidad de experiencia e interacción en el INCLUVERSO 5G.....	33
2.1	Conclusiones de los aspectos de la tecnología relacionados con QoE	33
2.1.1	Aspectos metodológicos.....	33
2.1.2	Calidad de experiencia en Incluverso 5G	35

2.2	Conclusiones de los aspectos de la tecnología relacionados con la calidad de interacción persona-computadora	37
3	Evaluación del INCLUVERSO 5G para la inclusión	41
3.1	Diseño inclusivo: inclusión de profesionales y personas usuarias.....	41
3.2	Metodología de evaluación	48
3.2.1	Lecciones aprendidas	50
3.2.2	Líneas guía.....	53
3.3	Consideraciones finales.....	54
4	Acrónimos.....	57
5	Índice de tablas.....	58
6	Índice de figuras	59

1 Validación de la tecnología del INCLUVERSO 5G

1.1 Pruebas finales de la plataforma XR sobre la red 5G

La Tecnología Principal Investigada (TPI) en Incluverso 5G es la **Realidad Distribuida sobre Redes de Telecomunicaciones Móviles 5G avanzadas**. Se trata de la convergencia e interacción entre dos ámbitos tecnológicos:

- **Redes de comunicaciones 5G avanzadas.** Las redes 5G+ se investigan desde el punto de vista de la **capa de aplicación**: cómo diseñar la RAN, el Edge y las arquitecturas basadas en servicios (SBAs) para optimizar la comunicación y el procesamiento de datos de XR.
- **Tecnologías de XR basadas en vídeo** (realidad distribuida). Se investiga cómo construir sistemas de **comunicaciones inmersivas** (captura, procesamiento, transmisión, reconstrucción) que operen bajo restricciones en la capacidad del sistema de comunicación: ancho de banda, latencia y capacidad de proceso en el Edge.

Al inicio del proyecto, esta TPI estaba en un grado de madurez tecnológica **TRL 3** (*Investigación aplicada. Prueba de concepto*), y el proyecto se ha planteado impulsarla hasta **TRL 4** (*Desarrollo a pequeña escala*), evolucionando los distintos bloques tecnológicos para permitir desarrollos que puedan ser probados por grupos de unas 10 personas

Para poder abordar los retos tecnológicos de investigación, así como su validación en casos de uso, se han diseñado tres escenarios técnicos de referencia, sobre los que se ha articulado la investigación y la validación de las actividades del proyecto. Los escenarios se definen con detalle en el entregable E1.2, y han sido evaluados de forma exhaustiva en los entregables E2.3 (en lo relativo a redes de comunicaciones 5G avanzadas) y E3.3 (en lo relativo a tecnologías de XR basadas en vídeo). Asimismo, se han evaluado en el contexto de cada uno de los casos de uso del proyecto, como se describe en los entregables E4.1, E4.2 y E4.3 parte I. En este entregable se analizan todas esas pruebas de forma conjunta, para verificar el

grado de cumplimiento de los requisitos definidos en el E1.2 y, de forma más amplia, los avances en la tecnología.

1.1.1 Escenario 1: Teleportación Virtual (Virtual Teleportation)

El escenario de teleportación virtual captura los desarrollos tecnológicos relacionados con el prototipo de telepresencia inmersiva (Owl) de Nokia. Este escenario está relacionado con la arquitectura de realidad extendida conversacional (“XR Conversational”) definida en 3GPP TR 26.928. Se trata de un esquema híbrido compuesto por un dispositivo de telepresencia, que captura en tiempo real el entorno local mediante vídeo 360; un servidor de telepresencia, que gestiona las sesiones y los flujos; y uno o varios clientes de XR, que asisten remotamente a la reunión inmersiva.

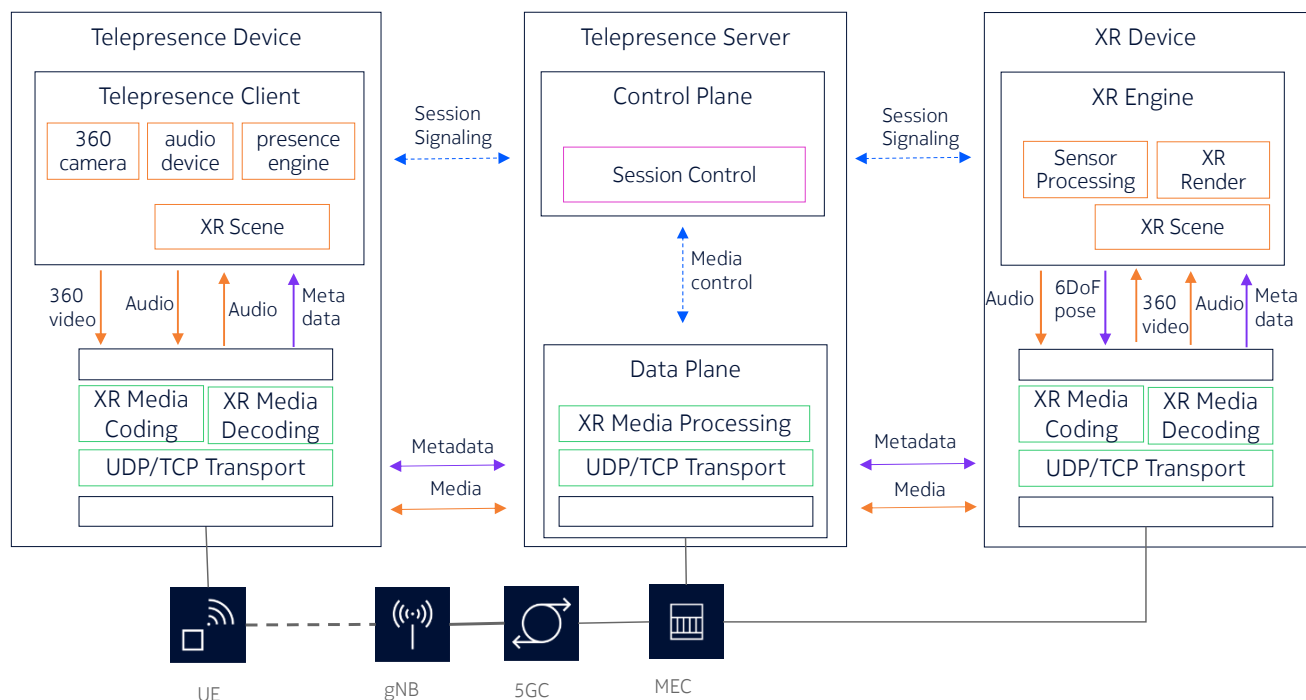


Figura 1: Arquitectura de alto nivel del escenario teleportación virtual

En el contexto del proyecto, este escenario técnico se ha empleado en los casos de uso de Telepresencia y de Teleformación. La siguiente tabla resume los principales indicadores de rendimiento (KPIs) del escenario, en relación con los requisitos propuestos en el entregable E1.2. Posteriormente se hace un análisis más detallado por bloques de requisitos.

Tabla 1: Resumen de KPIs para el escenario de teleportación virtual

KPIs		Requisitos	Validación	Análisis
Sesión	Núm. Usuarios	[2-10]	1-3 Local, 1 Remoto	A
	Velocidad Usuario	Caminando	Desplazamientos cortos	
	Distancia Usuarios	Cualquier lugar	Distintas dependencias de la Fundación Juan XIII	
Tasa de datos	Vídeo	5-20 Mbps UL	6 Mbps	B
	Audio	0.1-0.5 Mbps UL/DL	100 kbps UL / 100 kbps DL	
	Datos	0.2 Mbps DL	~50 kbps	
Latencias	Latencia round-trip	< 600 ms	~0.5s	
	Tasa refresco XR	30 fps	30 fps	
QoE	MOS perceptual	> 3.5	> 4.5 / 5	D
	Presencia espacial	Alta	6.9 / 7	
	Presencia social	Muy alta	6.8 / 7	
	Presencia autónoma / QoI	Media	> 6.5 / 7	
	Cibermareo	Mínimo (VSR > 4.5)	4.9	
Celda 5G	Cobertura	Interior/Exterior	Interior	A
	Movilidad	Baja	Estático	
	Densidad	Microcelda	Microcelda n40 + Slicing	
5Q QoS	DL Rate	0.3-0.8 Mbps	0.15 Mbps	B
	UL Rate	5-20 Mbps	6.2 Mbps	
	DL PDB	100 ms	~ 15 ms	
	UL PDB	100 ms	~ 15 ms	

	DL PER	FFS	0%	
	UL PER	FFS	0%	
MEC	Tasa de cuadro	30 fps	Solo reenvío de tráfico (no hay procesado de IA)	C
	Resolución de cuadro	3840 x 2160		
	Tasa binaria E/S	~10 Mbps		

A. Despliegue y cobertura

El escenario de teleportación virtual se ha probado en escenarios de interior, en el contexto de supervisión remota. El dispositivo de telepresencia (Snowl) está estático, sobre un trípode con ruedas, y se puede cambiar de posición dentro de un espacio limitado (habitación o vivienda). El dispositivo está conectado a un router, bien por cable ethernet bien por red WiFi; y el router está conectado al back-end a través de una red fija o de la red 5G. El usuario remoto está también en interiores, normalmente en una posición fija (aunque puede cambiar). Utiliza un HMD Meta Quest 2/3 conectado por WiFi a un router de red fija o de red 5G. En el proyecto se ha validado la tecnología con una o dos personas en remoto, y hasta tres personas en local de forma simultánea. En lo relativo a conectividad, se ha validado tanto en su configuración fija como en red 5G en banda n40 (en ambos lados de la comunicación).

Los casos de uso de telepresencia y teleformación han servido para la evaluación longitudinal del escenario en un entorno de uso realista. En ambos casos, un experto remoto (educador o profesora) ha utilizado la telepresencia para “teletransportarse” al lugar supervisado, en sesiones periódicas de una hora aproximada de duración (3-4 sesiones al mes), durante varios meses. Junto al dispositivo de telepresencia, había 3 usuarios simultáneos recurrentes (telepresencia) o 1-2 usuarios simultáneos de un total de 10 participantes (teleformación). En conjunto, se puede afirmar que la tecnología se ha probado por un grupo reducido de usuarios en un escenario de uso real.

El elemento más crítico para este escenario es el enlace de subida (uplink). Por ello, se han realizado pruebas exhaustivas de uplink en la red 5G en banda n40, con el tráfico del escenario de teleportación virtual. La configuración de red propuesta en el proyecto es usar

un slice priorizado (con suficiente reserva de capacidad de uplink) para el tráfico de vídeo inmersivo. Se ha validado que, en esta situación, la calidad de servicio es equivalente a la que se obtiene con el dispositivo cableado.

B. Tráfico de datos y calidad de servicio

El tráfico más relevante en este escenario es el uplink desde el dispositivo de telepresencia (Snowl). En el contexto de escenarios domésticos y baja movilidad que caracteriza al proyecto, se ha comprobado que unos 6 Mbps es suficiente para obtener una buena calidad. Gracias al uso del slicing, la red 5G permite procesar este tráfico de forma holgada, incluso en presencia de tráfico competitivo en otras slices. En este contexto, la latencia que aporta la red es despreciable: por debajo de 30 ms RTT, un orden de magnitud por debajo de la latencia total, que viene determinada por la codificación de vídeo. Asimismo, las pérdidas de paquetes son prácticamente nulas. Como se describe en el E2.3, el slicing permite mantener estas condiciones de servicio incluso para mayores bit rates de codificación de vídeo (se han probado con éxito hasta 20 Mbps). En condiciones donde el tráfico no puede estar aislado en un slice, utilizar priorización en calidad de servicio mediante 5QIs priorizados también permite mantener una calidad de servicio alta, aunque puede haber algunos picos de pérdidas cuando hay más usuarios usando en enlace.

Durante el proyecto, se han mejorado la latencia y la resistencia a errores (implementando retransmisiones) del sistema Snowl. También se ha implementado la monitorización de los KPIs de los flujos de vídeo y audio. Como resultado, la latencia extremo a extremo (incluyendo codificación y decodificación) está por debajo de 0.5 segundos y la tasa efectiva de pérdidas está por debajo de 1% (siendo 0 en la mayor parte de los escenarios).

C. Procesamiento en el edge

El nodo de red situado en el Edge hace funciones de backend del sistema de telepresencia: establece las llamadas entre los distintos dispositivos, reenvía los flujos y monitoriza el tráfico. En este escenario no hay procesamiento intensivo (IA) en el Edge.

D. Calidad de experiencia

Como se observa en la Tabla 1, la versión final del Snowl cumple ampliamente los requisitos numéricos de calidad de experiencia propuestos al inicio del proyecto. Podemos analizar

estos requisitos en tres aspectos: calidad perceptual (MOS), aspectos socioemocionales (presencia) y cibermareo.

La calidad perceptual (MOS) evaluada longitudinalmente en contexto de los casos de uso es muy alta, tanto en su valoración global como en la de cada uno de sus componentes. Se ha observado, además, una mejora en la calidad ofrecida por las distintas versiones del Snowl (con el prototipo inicial se medía un MOS < 4), debido a sus mejoras técnicas: mejor calidad en el sistema de captura (lentes, codificación y calibración geométrica), reducción de la latencia y protección frente a errores. Además, se ha diseñado un modelo paramétrico de QoE a partir de los KPIs de QoS que permite estimar cómo se degrada la calidad en condiciones severas de red. Esto ha permitido verificar que la MOS observada en los casos de uso se puede reproducir en otros contextos, siempre que la red ofrezca una QoS similar.

En lo relativo a la sensación de presencia, tanto espacial como social, los resultados obtenidos han sido muy altos. La evaluación cualitativa (entrevistas, comentarios, etc.) también es consistente con estos resultados. La calidad de la interacción (QoI) también es muy alta. Desde una perspectiva más funcional, se han cumplido los objetivos de supervisión remota de usuarios de pisos tutelados o estudiantes de cocina.

Las mejoras de implementación en la calidad de experiencia han dado como resultado un sistema más confortable, sin apenas síntomas de cibermareo (VSR cercano a 5, “sin síntomas”). Esto es una mejora significativa con respecto a las fases anteriores del prototipo, donde el VSR se situaba en el rango de 3.5 – 4.0 (síntomas leves a moderados). Es especialmente importante si se tiene en cuenta que se ha probado en sesiones de telepresencia bastante largas (de una hora de duración), lo que incrementa la posibilidad de aparición del mareo.

Finalmente, cabe destacar las mejoras de usabilidad que se han implementado en el dispositivo Snowl, que ahora es un dispositivo compacto que no requiere montaje y puede lanzar una llamada simplemente pulsando un botón. Esto permite su despliegue en pilotos desatendidos (sin presencia de los investigadores).

1.1.2 Escenario 2: Procesamiento delegado de Realidad Mixta (*Mixed Reality computation offloading*)

El escenario de procesamiento delegado de realidad mixta captura las investigaciones y desarrollos relacionadas con la presencia autónoma y la interacción natural en entornos de realidad mixta o extendida: todo el procesado algorítmico realizado a partir de las cámaras instaladas en el HMD con el fin de interpretar el mundo físico cercano al usuario y mejorar su interacción en XR: representación del cuerpo del usuario en la escena XR, representación de otros objetos físicos, interacción del usuario con elementos físicos y virtuales. Este escenario está relacionado con la arquitectura de computación distribuida para realidad extendida (“XR Distributed Computing”) definida en 3GPP TR 26.928. El dispositivo de XR delega parte del procesamiento a un servidor externo en el borde de la red (*Edge*), para poder ejecutar algoritmos de inteligencia artificial que no pueden implementarse en el propio dispositivo de XR por capacidad de proceso o consumo de energía.

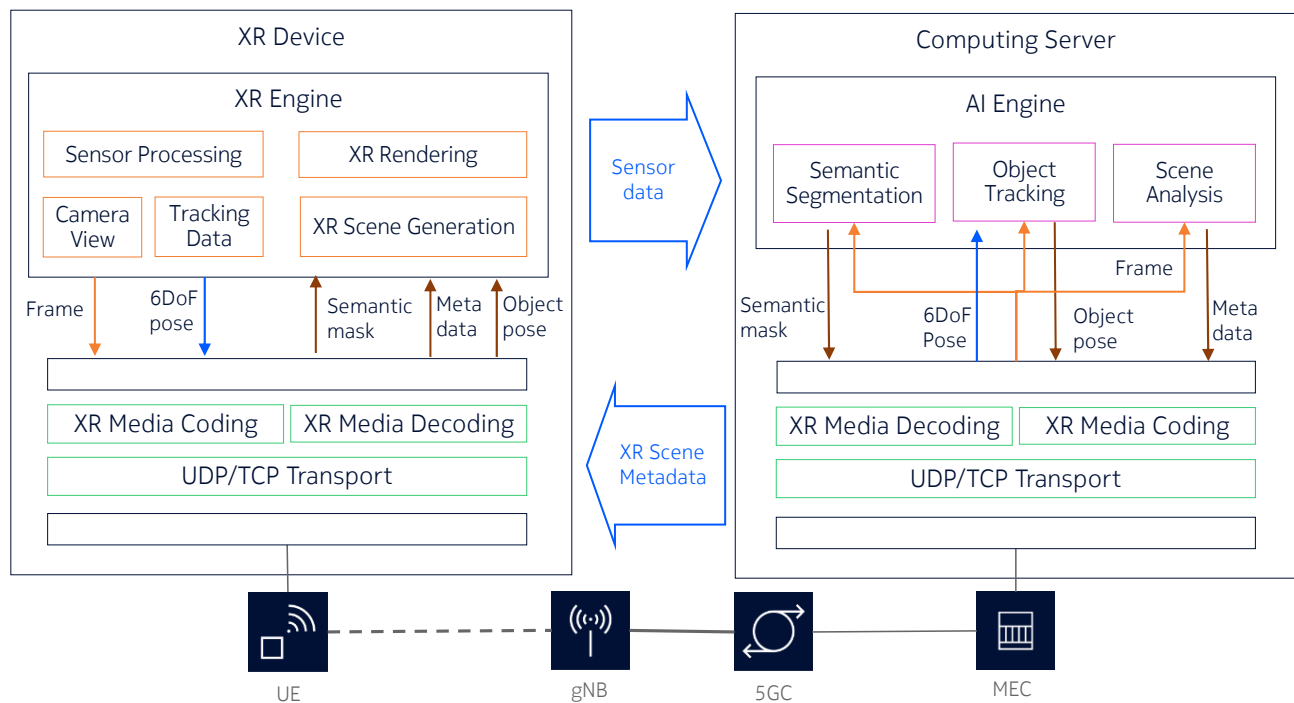


Figura 2: Arquitectura de alto nivel del escenario de procesamiento delegado de Realidad Mixta

En el contexto del proyecto, este escenario técnico se ha empleado en los casos de uso de Terapia y de Teleformación. La siguiente tabla resume los principales indicadores de rendimiento (KPIs) del escenario, en relación con los requisitos propuestos en el entregable E1.2. Posteriormente se hace un análisis más detallado por bloques de requisitos.

Tabla 2: Resumen de KPIs para el escenario de procesamiento delegado de realidad mixta

KPIs		Requisitos	Validación	Análisis
Sesión	Núm. Usuarios	[1-10]	1	A
	Velocidad Usuario	Estático	Estático	
	Distancia Usuarios	Local (área MEC)	Local	
Tasa de datos	Vídeo	10-100 Mbps UL 1-10 Mbs DL	11 Mbps UL / 1 Mbps DL	B
	Sensores	0.1 Mbps UL	-	
	Datos	0.2 Mbps DL	-	
Latencias	Latencia round-trip	< 100 ms	35-80 ms	C
	Tasa refresco XR	60 fps	60 fps	
	Frecuencia IA	15 infer/s	35-90 infer/s	
QoE	MOS perceptual	> 4.0	~ 4.0	D
	Presencia espacial	Alta	~ 6.0 / 7	
	Presencia autónoma	Muy alta	~ 6.0 / 7	
	Cibermareo	Bajo (VSR > 4.0)	> 4.5	
Celda 5G	Cobertura	Interior	Interior	A
	Movilidad	Estático	Estático	
	Densidad	Micro/picocelda	Microcelda n40 + Slicing	
5Q QoS	DL Rate	1-20 Mbps	1 Mbps	B
	UL Rate	10-200 Mbps	11 Mbps	
	DL PDB	20 ms	~ 15 ms	

	UL PDB	20 ms	~ 15 ms	
Procesamiento MEC	Tasa de cuadro	15 - 60 fps	35-90 fps	C
	Resolución de cuadro	1280 x 480	1280 x 480	
	Tasa binaria E/S	~100 Mbps	~10 Mbps	
	Tiempo de inferencia	10-20 ms	10-30 ms	
	Memoria GPU estimada	< 4GB	2-3 GB	

A. Despliegue y cobertura

El escenario de procesamiento delegado de realidad mixta se ha utilizado para la introducir presencia autónoma (avatares realistas basados en vídeo) a partir del video egocéntrico capturado desde el HMD e insertado en la escena virtual mediante segmentación semántica. El usuario está en interior, en un contexto de terapia o teleformación. Transmite el vídeo de la cámara, y recibe la máscara de segmentación, a través de la conexión WiFi del HMD. El router WiFi, a su vez, puede tener conexión fija o 5G hasta el Edge, donde se ejecutan los algoritmos de segmentación semántica. Se han evaluado diferentes algoritmos y mecanismos de interacción, tanto a nivel de experiencia de usuario como a nivel de rendimiento del procesado en el Edge.

Se han evaluado de forma longitudinal (con unos 10 usuarios a lo largo de varias sesiones, semanalmente) la segmentación semántica del cuerpo basad en redes neuronales en el Edge (terapia) como la segmentación basa en el *tracking* local de las manos (teleformación). Asimismo, se han hecho evaluaciones puntuales (a nivel de rendimiento y de QoE) de distintos algoritmos de segmentación del cuerpo y de objetos de interés. Las evaluaciones longitudinales nos permiten estimar la QoE asociada al *uso* de este tipo de algoritmos en casos de uso, y las evaluaciones puntuales nos permite comparar la QoE ofrecida (y los recursos consumidos) por unos algoritmos frente a otros.

Como en el escenario anterior, en el escenario de computación delegada es crítico el enlace ascendente (uplink). Por eso se ha determinado desplegar el algoritmo en un slice orientado

al tráfico de uplink. Además, se ha estudiado el consumo de los distintos algoritmos en el servidor MEC desplegado en el proyecto, tanto en lo relativo al uso de GPU (tasa de inferencias por segundo) como de memoria.

B. Tráfico de datos y calidad de servicio

El flujo de datos de este caso de uso consiste en la codificación de cada frame en una imagen JPEG y su transmisión mediante una ráfaga de TCP. Este escenario es agresivo en cuanto al tráfico generado, pero es imprescindible para mantener baja la latencia de codificación y decodificación. Para la resolución de referencia que se maneja en el proyecto, esto implica un tráfico de unos 11 Mbps en el uplink, y significativamente inferior en el downlink, donde solo se transmite una máscara binaria. En cada uno de los enlaces, la latencia (el tiempo de transmisión de cada cuadro completo, no únicamente la latencia de red) es inferior a 15 ms en banda n40. Las simulaciones muestran que, en bandas superiores (n77/n256) con más ancho de banda disponible, se podría reducir este número a la mitad.

Para mantener la latencia baja es necesario que el sistema tenga acceso a los recursos de red de forma prioritaria. Se ha comprobado que el uso de slicing permite garantizar estos recursos de forma consistente, mientras que la priorización basada en 5QIs no es capaz de proteger la QoS de forma tan efectiva.

C. Procesamiento en el edge

Se han hecho pruebas intensivas de rendimiento de los algoritmos que requieren procesado en el borde de la red (Edge). El tiempo de inferencia de los distintos algoritmos depende de varios factores: el algoritmo en sí, la resolución de la imagen de entrada y las capacidades de la GPU en la que se ejecuta. Para la resolución de referencia del proyecto (1280x480) y en la GPU desplegada en el MEC (nVidia Tesla T4), los tiempos de inferencia oscilan entre los 11 y los 28 ms, resultando en tasas de cuadro entre 35 y 90 FPS¹. El consumo de memoria se

¹ Se excluye de este análisis el algoritmo de segmentación por chroma adaptativo, que requiere de un tiempo de inferencia mayor (65 ms), pero no debe ejecutarse en todos los cuadros, sino una vez cada 1-2 segundos. Ver E3.1 y E3.3 para más detalles.

encuentra, en general, por debajo de los 4 GB previstos. Conviene destacar que, al igual que en el caso de la red, estos algoritmos son intensivos en GPU durante su uso.

D. Calidad de experiencia

En este escenario se han probado diversos algoritmos en distintas condiciones. Cada uno de ellos tiene sus particularidades con respecto a su funcionalidad, los recursos que consume y la QoE que ofrece. En el entregable E3.3 se presenta un análisis detallado.

De forma global, se puede ver que la QoE perceptual ha sido buena (MOS ~4) para los algoritmos utilizados en los casos de uso del proyecto. Algunos de los algoritmos adicionales que se han desarrollado (segmentación semántica de objetos) no alcanzan aún esta calidad, pero ofrecen calidad suficiente (MOS ~3.5) para poder experimentar con ellos y desplegarlos en pequeños pilotos.

Cuando se han probado en entornos inmersivos, todos los algoritmos han ofrecido niveles de sensación de presencia espacial y autónoma muy elevados (cerca de la saturación de la escala) y valores de confort muy altos (VSR > 4.5, entre “imperceptible pero no molesto” y “no perceptible”).

1.1.3 Escenario 3: Regulación Emocional (*Emotion Regulation*)

El escenario de regulación emocional cubre toda la investigación en tecnología de monitorización de biomarcadores digitales (pose, dirección de vista, movimiento de manos y del usuario, sensores de pulso, respuesta galvánica, electromiograma...), tanto en lo relativo a su captura como en su análisis para detectar el estado emocional del usuario. Este escenario está también relacionado con la arquitectura de computación distribuida para realidad extendida (“XR Distributed Computing”) definida en 3GPP TR 26.928. En este caso, el servidor de computación en el borde de la red analiza los datos capturados a los usuarios para generar información de biomarcadores digitales del usuario, como su estado emocional, que se envía de vuelta a la aplicación de XR.

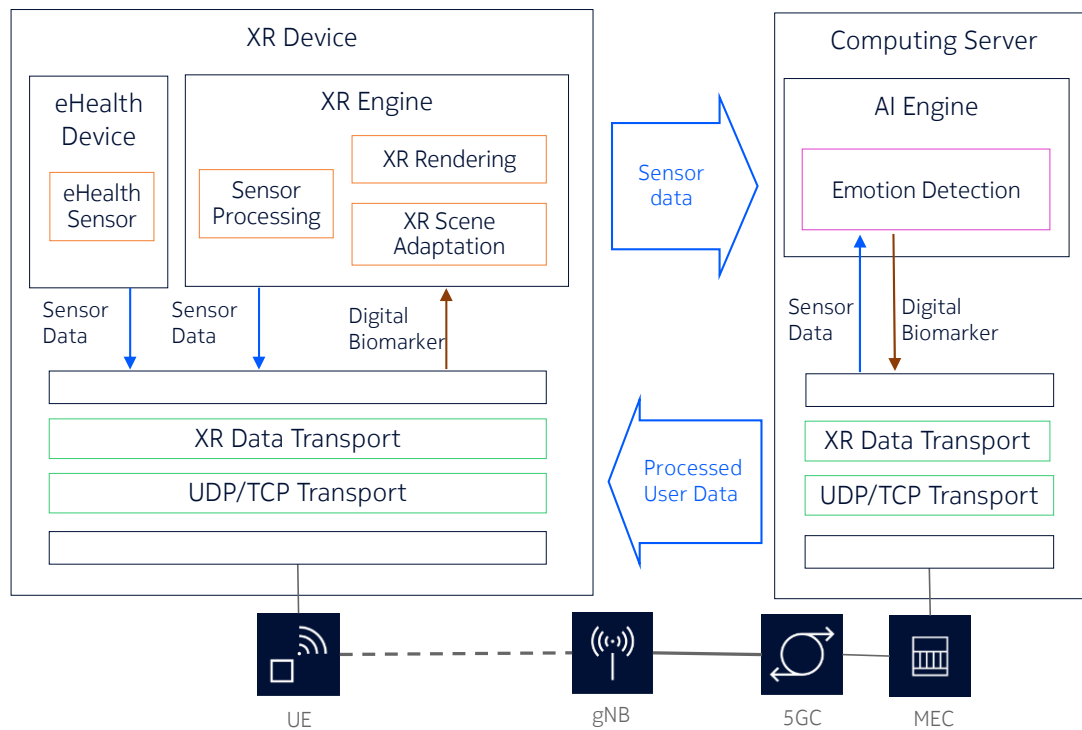


Figura 3: Arquitectura de alto nivel del escenario de regulación emocional

En el contexto del proyecto, este escenario técnico se ha empleado en los casos de uso de Terapia y de Teleformación. La siguiente tabla resume los principales indicadores de rendimiento (KPIs) del escenario, en relación con los requisitos propuestos en el entregable E1.2. Posteriormente se hace un análisis más detallado por bloques de requisitos.

Tabla 3: Resumen de KPIs para el escenario de regulación emocional

KPIs		Requisitos	Validación	Análisis
Sesión	Núm. Usuarios	[1-100]	1 – 50	A
	Velocidad Usuario	Cualquiera	Estático / andando	
	Distancia Usuarios	Cualquier lugar	Instalaciones de la Fundación Juan XXII	
Latencias	Sensores	0.1 Mbps UL	0.15 kbps	B
	Datos	0.1 Mbps DL	0.15 kbps	
	Latencia round-trip	< 2 s	< 25 ms	

	Frecuencia IA	1 infer/s	9000 inf/s	C
QoE	MOS (comunicaciones)	-	4.6	D
Celda 5G	Cobertura	Interior / Exterior	Interior / exterior	A
	Movilidad	Media	Media	
	Densidad	Macro/microcelda	Microcelda n40 + slicing	
5Q QoS	DL Rate	0.1 Mbps	0.15	B
	UL Rate	0.1 Mbps	0.15	
	DL PDB	300 ms	8	
	UL PDB	300 ms	8	
Procesamiento MEC	Tasa de cuadro	10 muestras / s	9000 inf/s	C
	Tasa binaria E/S	~100 kbps	150 kbps	
	Tiempo de inferencia	0.1 – 1 s	2.4 Mbps	
	Memoria GPU estimada	< 4GB	0 (CPU)	

A. Despliegue y cobertura

El escenario de regulación emocional se orienta a investigar el uso masivo (o, al menos, múltiple) de dispositivos con tráfico IoT, como los biosensores, para proporcionar funcionalidades de inteligencia artificial personalizadas. En particular, se ha estudiado su uso para monitorizar a los usuarios de terapia conductual o entrenamiento cognitivo (en teleformación), con el fin de detectar situaciones de estrés, ansiedad o frustración. El usuario se encuentra en una sala determinada, en interiores, estático o andando, mientras participa en la terapia. Sin embargo, algunos biosensores deben llevarse también antes de comenzar la terapia en sí (para calibración), por lo que se han probado en situaciones menos controladas.

Las restricciones de los dispositivos asociados a este escenario han hecho que se haya tenido que probar por partes. Por un lado, solo se ha podido usar un set de sensores, lo que quiere

decir que no se han podido probar numerosos dispositivos en paralelo. Por otro lado, algunos dispositivos de los utilizados solo permiten grabar los datos en local, por lo que no ha sido posible controlar la transmisión de todos ellos por la red en tiempo real. Finalmente, el desarrollo y validación de los algoritmos ha sido posterior a la captura de datos y, en algunos casos, a la ejecución del caso de uso, por lo que no estaban disponibles para su uso en ese momento. Por todos estos motivos, la evaluación se ha hecho en tres fases:

- Factores técnicos y ergonómicos en la captura de datos: cómo capturar suficientes señales. Minimizando el ruido y colocando los sensores de tal modo que no resulten invasivos.
- Análisis de los algoritmos de predicción de estrés y evaluación de su rendimiento.
- Comunicación por red 5G y resiliencia frente al tráfico generado por otros usuarios.

Para priorizar y garantizar este tráfico, también se incluye en la slice orientada al uplink.

B. Tráfico de datos y calidad de servicio

Los datos de los biomarcadores recopilados en el proyecto requieren de una tasa de transmisión de aproximadamente 150 kbps, asumiendo que se envían de forma textual sin comprimir (JSON) con una tasa de refresco de 10 Hz. En la red n40, el tiempo de ida y vuelta (RTT) de un mensaje y su respuesta es inferior a 25 ms, muy por debajo de lo requerido. En este sentido, un único usuario en la red no supone ningún problema. En un contexto de microcelda n40 con slicing, la capacidad siempre está asegurada.

Desde el punto de vista de comunicaciones, no obstante, este escenario evalúa condiciones tipo IoT, con muchos usuarios concurrentes. Las simulaciones muestran que, con priorización adecuada de tráfico, se puede seguir dando servicio con hasta 50 usuarios concurrentes a 10 kbps sin impacto significativo en la QoS.

C. Procesamiento en el edge

Los datos recibidos por los sensores se han procesado con distintos clasificadores de aprendizaje automático para detectar si la persona monitorizada está en situación de estrés. Los algoritmos con mejores resultados (SVM lineal, regresión logística) realizan de 9000 a 14000 inferencias por segundo en el servidor Edge de Inclusiveo. Esto permite tener a más de 1500 usuarios simultáneos con una tasa de una inferencia por segundo (1Hz) y en torno

a 200 para una tasa de 10 Hz, lo que es compatible con la tasa de transferencia de datos indicada anteriormente.

D. Calidad de experiencia

No existen aún modelos de QoE integrados (extremo a extremo) fiables para este tipo de escenarios, y su desarrollo excede del alcance del proyecto. En Incluverso 5G se ha evaluado la QoE desde tres perspectivas: comunicaciones, algoritmos y sensores.

Desde el punto de vista de comunicaciones, se ha establecido un modelo análogo al de los otros escenarios, basado en la latencia y la tasa de refresco. Como se ha mencionado, la red no es aquí el cuello de botella, y el MOS obtenido es alto (4.6).

Desde el punto de vista de los algoritmos, los que ofrecen mejores resultados tienen una *accuracy* de 0.6 y un *F1-score* de 0.3 (ver E3.3). En este aspecto, los resultados son modestos. Las limitaciones se deben a la dificultad de obtener datos en un entorno no controlado (no de experimentación clínica).

Los sensores utilizados, por otro lado, se han seleccionado para ser poco invasivos y, de hecho, han sido muy bien aceptados por los usuarios. Esto hace que, si bien la tasa de acierto de los algoritmos aún es modesta, los resultados obtenidos son repetibles en contextos realistas (fuera de laboratorio), lo que supone una contribución científica importante.

1.1.4 Grado de madurez tecnológica

Del análisis realizado anteriormente, se puede concluir que la Tecnología Principal Investigada (TPI), la **Realidad Distribuida sobre Redes de Telecomunicaciones Móviles 5G avanzadas**, ha alcanzado un grado de madurez tecnológica **TRL 4** (*Desarrollo a pequeña escala*). Se han mejorado los distintos aspectos que forman parte de la TPI para desarrollar los escenarios tecnológicos mencionados, que se han probado en casos de uso a pequeña escala (con grupos de unas 10 personas). Esto se plasma tanto en los avances tecnológicos que se han producido, como en el análisis de sus interacciones para abordar los casos de uso.

Se han logrado los siguientes **avances tecnológicos**:

- **Mejoras en la gestión de la QoS en redes 5G avanzadas para proporcionar servicios de XR.** Se ha diseñado un modelo paramétrico de QoE que permite modelar el impacto de la QoS en el usuario. Se ha mejorado el emulador FikoRE para producir resultados más reproducibles. Se ha desplegado una red 5G en banda n40, sobre la que se ha implementado *slicing* de red. Se han realizado pruebas conjuntas de todo lo anterior, para verificar la QoE obtenida en distintos escenarios de gestión de QoS, tanto en red real como simulada.
- **Desarrollo de arquitecturas orientadas a servicios que permitan proporcionar funcionalidad XR sobre plataformas de Edge Computing.** Se ha diseñado e implementado un sistema de Multiaccess Edge Computing (MEC), y se han desarrollado los distintos componentes de los escenarios de aplicación del proyecto como servicios desplegados en el MEC: algoritmos de IA (segmentación semántica, análisis de biomarcadores...), software de control (brokers de mensajes), backend del sistema Snowl, servicios de monitorización de KPIs.
- **Mejoras en las tecnologías de presencia autónoma e interacción natural para poderlas aplicar en poblaciones diversas.** Se han desarrollado numerosos algoritmos y técnicas de presencia autónoma e interacción natural: mejoras en la segmentación semántica del cuerpo, algoritmos adaptativos de segmentación por color, segmentación semántica de cuerpo y objetos, realidad mixta basada en *tracking* de manos, realidad mixta basada en realidad aumentada, interacciones en realidad virtual y realidad aumentada (botones, interacción con objetos...), etc. Todos los algoritmos han sido probados por y, en su caso, adaptados a, personas con discapacidad intelectual.
- **Mejoras en las tecnologías de telepresencia inmersiva para adaptarlas a redes de comunicaciones móviles, de modo que proporcionen suficiente QoE.** Se ha implementado un nuevo prototipo Snowl de telepresencia inmersiva más accesible, que permite su despliegue con grupos pequeños de usuarios. Se ha mejorado la QoE en entornos de redes móviles implementando un nuevo sistema de captura y pipeline multimedia, que incluye mejor resolución, calibración, codificación, protección contra

errores y menor latencia. Se ha validado que la QoE es suficiente en redes móviles en banda n40 con gestión de QoS mediante slicing de red.

- **Investigación en tecnologías de biomarcadores digitales y regulación emocio-cognitiva para poderlas incorporar en sistemas de XR.** Se han monitorizado distintos biomarcadores digitales durante la ejecución de casos de uso completos (es decir, en fuera de laboratorio), utilizando sensores no invasivos aceptados por los usuarios. Se han analizado estos datos para extraer conclusiones cualitativas, y se han desarrollado algoritmos de regulación emocional para detectar de forma automática situaciones de estrés.

Un aspecto muy importante de este proyecto es que estas tecnologías no han investigado de forma aislada, sino **de forma conjunta**, considerando las **interacciones entre ellas** y los distintos **compromisos de uso de recursos** en todos los niveles (red de acceso, transporte, aplicación). Esto es de particular relevancia, dado que la TPI del proyecto es la convergencia de distintas áreas tecnológicas.

En este sentido, en el proyecto se ha prestado especial atención a que el desarrollo de la tecnología, entendida como todas las piezas tecnológicas en su conjunto, sea lo suficientemente robusta como para que pueda usarse de forma efectiva para construir las futuras aplicaciones de XR. Esto se refleja en tres aspectos:

- El desarrollo de la tecnología ha estado siempre guiado por su **aplicabilidad** en los tres casos de uso: **terapia**, **telepresencia** y **formación**. Se ha partido siempre de las necesidades de los usuarios, lo que ha permitido enfocar los esfuerzos de investigación en las piezas tecnológicas más importantes para poder alcanzar el TRL 4 propuesto.
- Se ha establecido un marco de **evaluación de la Calidad de Experiencia** (QoE) de las tecnologías que abarca de forma consistente todos los niveles del proyecto. Se ha diseñado un modelo de QoE que permite conectar las medidas de red (QoS) con la calidad de experiencia percibida por el usuario (MOS); se han relacionado evaluaciones subjetivas de esta calidad MOS, tanto en pruebas aisladas como de forma longitudinal

en los casos de uso; se ha conectado esta evaluación con aspectos más generales de la experiencia de usuario (presencia, usabilidad, confort, aceptabilidad...), obtenidos mediante cuestionarios adaptados y entrevistas; y se ha evaluado el resultado final de los casos de uso (éxito de la terapia, aprendizaje, etc.) mediante herramientas centradas en los usuarios. Este marco conecta todos los resultados de investigación del proyecto y permite identificar las relaciones entre unos y otros.

- Los desarrollos tecnológicos se han **diseñado y evaluado de forma conjunta** entre los investigadores técnicos, los usuarios (personas con discapacidad intelectual y otras situaciones de vulnerabilidad psicosocial) y los profesionales que los atienden. Se han realizado numerosas modificaciones en la tecnología, en el diseño de los casos de uso, y en los métodos de evaluación, para adaptarlos a las necesidades y preferencias de los usuarios. Esto asegura que la tecnología desarrollada sea aplicable de forma **inclusiva** por diseño, evitando así sesgos en el desarrollo que puedan manifestarse en fases posteriores de la madurez tecnológica.

Adicionalmente a la mejora de la tecnología, cabe destacar que el proyecto ha tenido un impacto positivo en la mejora de la calidad de vida de las personas que han participado en él.

1.2 Cumplimiento de los objetivos técnicos específicos del proyecto

1.2.1 OTE1: Desarrollo de tecnología de red 5G Avanzada para el despliegue de servicios de Realidad Extendida (XR)

El primer objetivo técnico del proyecto es la investigación en **tecnologías de red 5G de comunicaciones** que faciliten la implementación de servicios de realidad extendida (XR) con suficiente calidad de experiencia (QoE). Este objetivo cubrirá los siguientes aspectos:

Objetivo	Cumplimiento
Investigación para la mejora de los sistemas RAN privada mediante el despliegue de una red 5G en banda N40 en régimen de	Se ha desplegado una red n40 en autoprestación. Se han configurado slices de radio. Se han realizado pruebas

autoprestación, sobre la que se analizarán los principales KPIs de la radio.	exhaustivas de funcionalidad, estabilidad, cobertura y calidad de servicio.
Además, se investigarán y analizarán mejoras del sistema RAN empleando el emulador de radio 5G FikoRE de Nokia.	Se ha mejorado el modelado físico del emulador FikoRE de Nokia. Se ha diseñado un modelo de QoE. Se han evaluado aspectos del sistema RAN (QoS, slicing) para mejorar la QoE obtenida en servicios XR.
Desarrollo de una plataforma Edge Computing que permita ejecutar los casos de uso de XR e IA de forma efectiva, con los requisitos de capacidad de proceso y latencia necesarios para proporcionar suficiente QoE.	Se ha desarrollado y desplegado una plataforma MEC, basada en hardware OpenEdge de Nokia, con aceleración GPU de nVidia, y se han diseñado las máquinas virtuales, espacio de almacenamiento y redes para poder desplegar todos los servicios.
Diseño y desarrollo de una Arquitectura Basada en Servicios (SBA) que permita desplegar en el Edge tanto las funcionalidades de Core 5G como de Funciones de Red Virtuales (VNFs) necesarias para el funcionamiento de los servicios XR.	Se han desplegado las principales funcionalidades como VNFs usando máquinas virtuales dedicadas, con sub-componentes desplegados en contenedores Docker para una mayor flexibilidad.

1.2.2 OTE2: Desarrollo de una plataforma de aplicaciones 5G de Realidad Extendida accesible e inclusiva

Este objetivo aborda la investigación en **tecnologías de Realidad Extendida** accesibles que permitan la implementación del Incluverso. Cubre los siguientes aspectos:

Objetivo	Cumplimiento
Desarrollo de una plataforma de Realidad Extendida (XR), apoyándose en la tecnología desarrollada en objetivo técnico anterior, que incorpore interfaces de interacción naturales, telepresencia inmersiva, detección de biomarcadores digitales, y	Se han desarrollado interfaces de interacción natural adaptados a distintos casos de uso. Se han desarrollado e integrado diferentes mecanismos para percepción del propio cuerpo en el entorno XR. Se han implementado mejoras en la gestión del pipeline multimedia de

capacidad de aumentación o disminución del entorno.	telepresencia para mejorar su QoE. Se ha diseñado y desarrollado un nuevo prototipo accesible de telepresencia. Se han capturado y analizado distintos biomarcadores digitales. Se han implementado escenarios de realidad mixta y aumentada. Todo ello se ha implementado como componentes fácilmente reutilizables en futuros desarrollos, en el marco de una plataforma común.
Desarrollo y validación de algoritmos de Inteligencia Artificial que faciliten la implementación de dicha funcionalidad, como por ejemplo la segmentación semántica del entorno local, o la regulación emocional.	Se han desarrollado y entrenado algoritmos de segmentación semántica del entorno local: segmentación del cuerpo (Thundernet, Chroma adaptativo) y del cuerpo más objetos (Thundernet + EgoHos + Yolo). Se han capturado y analizado biomarcadores digitales y se han entrenado y evaluado varios clasificadores para su uso en regulación emocional.

1.2.3 OTE3: Co-diseño y validación de la tecnología 5G y XR desarrollada en casos de uso que mejoren la inclusión de personas con vulnerabilidad psicosocial

Finalmente, es preciso diseñar la tecnología a la vez que se valida en **distintos casos de uso**. Este objetivo cubrirá los siguientes aspectos:

Objetivo	Cumplimiento
Implementación de tres casos de uso basados en la tecnología del proyecto: terapia conductual y cognitiva, telepresencia en pisos tutelados y teleformación para la inserción laboral.	Se ha implementado un caso de uso de terapia conductual para tratar el miedo a las escaleras . Se ha creado una aplicación específica para la terapeuta y otra para los usuarios. Se han generado contenidos adaptados a las necesidades de los usuarios (tanto vídeos 360 como contenido VR). Se

han integrado tecnologías de segmentación egocéntrica para ver el propio cuerpo.

Se ha implementado un caso de uso de **telepresencia en pisos tutelados**. Se ha desplegado un sistema de telepresencia en un piso tutelado en el que viven usuarios de forma autónoma.

Se ha implementado un caso de uso de **teleformación** para inserción laboral, con dos acciones complementarias: **entrenamiento cognitivo** en atención y formación en **operaciones básicas de repostería**. Se han creado aplicaciones específicas para la terapeuta / formadora y para los usuarios para cada una de las dos variantes. Se han generado contenidos adaptados: escenas VR para entrenamiento cognitivo y vídeos 360º para la repostería. Se ha diseñado e implementado un programa de formación a distancia en operaciones de repostería combinando visualización de vídeo 360º, supervisión remota mediante telepresencia y práctica autónoma en entornos de realidad mixta.

Validación de los casos de uso con personas en riesgo de vulnerabilidad psicosocial.

Se ha validado el caso de uso de **terapia** con un grupo de 9 personas usuarias del centro ocupacional de la Fundación Juan XIII que tenían miedo a subir o bajar escaleras, que han tenido una sesión semanal individual durante 6 meses.

Se ha validado el caso de uso de telepresencia en un **piso tutelado** con 3 usuarios y un educador. Un día a la semana durante 6 meses, el apoyo del educador se ha dado por telepresencia en vez de presencial, para enseñarles a realizar algunas tareas domésticas.

Se ha validado el caso de uso de **teleformación** para inserción laboral con 18 personas usuarias del centro ocupacional. 8 de ellas han validado el entrenamiento en atención, con sesiones individuales de una hora a la semana durante 8 meses. Otras 10 han validado la formación en pastelería, durante 5 meses con un total de 16 sesiones cada uno.

Para todos los casos de uso, se han hecho evaluaciones de los participantes pre y post intervención, así como evaluaciones relacionadas con la tecnología (QoE) por parte de participantes y profesionales.

1.3 Recomendaciones y lecciones aprendidas para el desarrollo futuro de la tecnología

Para un desarrollo de tecnologías XR inclusivas se requieren unas líneas guía simples, fiables y fácilmente aplicables. Las siguientes pautas sintetizan los hallazgos del proceso iterativo de co-diseño y de las implementaciones, ofreciendo lecciones aprendidas y recomendaciones prácticas. En primer lugar, se abordan los aspectos relacionados con el diseño de las aplicaciones XR (interacción de la tecnología con los usuarios). Posteriormente se abordan los aspectos relacionados con la instalación, despliegue y operación de los servicios en las instalaciones de la institución que los proporciona.

1.3.1 Diseño de aplicaciones y servicios XR en instituciones de atención psicosocial y otros verticales

Interfaz de control para la gestión de sesiones

Cuando se expone a los participantes a distintos contenidos en un visor de realidad virtual mientras otra persona dirige la sesión, es necesario disponer de una interfaz de control específica para gestionar la sesión. De este modo, los participantes no necesitan interactuar

con componentes del sistema dentro del visor más allá de los objetivos de la aplicación inmersiva.

Los controles deben estar disponibles tanto durante la fase de inicio de la aplicación como dentro de la propia experiencia inmersiva. También debe incluirse un área de monitorización que muestre en tiempo real lo que el participante está viendo, permitiendo mantener supervisión continua y garantizar un entorno seguro y controlado.

Interfaz de control en la que mostrar el visionado de la persona con HMD y datos adicionales

Integrar una vista de monitorización en la interfaz de control de la terapeuta resultó esencial en los casos de uso en los que hay que tener un control sobre el estímulo presentado, como es la terapia conductual o cognitiva. Las terapeutas necesitaban acceso en tiempo real al campo de visión de los participantes para supervisar sus acciones durante la sesión, comprender cómo interactuaban con el entorno y ofrecer realimentación sobre su desempeño. Esto ya no es útil únicamente para la terapeuta sino también para poder guiar y evitar así sensación de frustración de las personas participantes con la tecnología.

La monitorización de datos adicionales puede ser muy útil dependiendo del caso de uso. Por ejemplo, en la experiencia de terapia conductual, la interfaz incluía datos recogidos por los biosensores en tiempo real, lo que permitía a la terapeuta evaluar respuestas emocionales, detectar señales de incomodidad y ajustar la sesión cuando fuera necesario. Se recomienda su monitorización en tiempo real en aquellos casos en los que se vaya a poder modificar la experiencia según los datos recogidos.

Fase de sensibilización a la tecnología

Los entornos de vídeo 360° de baja estimulación y carácter calmado fueron esenciales durante las sesiones iniciales de familiarización, ya que permitían que las personas participantes se sintieran cómodas en el entorno inmersivo mientras se minimizaba la ansiedad y se evitaban estímulos potencialmente disruptivos.

En un entorno terapéutico, sin esta fase de familiarización, los pacientes pueden percibir la tecnología como una parte intrínseca o incluso como la terapia misma. Si la experiencia inicial con la tecnología es abrumadora o incómoda, este rechazo puede extenderse al proceso

terapéutico completo, dificultando la aceptación y el compromiso del paciente tanto con la terapia como con la tecnología. Al separar claramente la familiarización con la tecnología de la intervención terapéutica principal, se asegura que los pacientes puedan concentrarse en los objetivos de la terapia una vez que estén preparados.

Además, testeando nuevas tecnologías en otros contextos – no necesariamente terapéuticos-, especialmente las inmersivas como la realidad extendida, pueden generar ansiedad o desorientación inicial. Esta fase de adaptación permite a los usuarios familiarizarse con el entorno tecnológico en un contexto de baja presión y más amigable, pudiendo personalizar los contenidos a ser mostrados.

Selección y diseño del estímulo presentado en el entorno inmersivo

La reproducción de vídeos 360° y contenidos inmersivos requiere una planificación cuidadosa. Parámetros como la altura de la cámara y la distancia a los elementos circundantes tienen un impacto directo en la percepción de las personas visualizando la escena con el HMD. Es importante adaptar la perspectiva de grabación a la forma en que los participantes visualizarán el contenido. Como los vídeos 360° restringen el movimiento y suelen experimentarse sentados, la cámara debe colocarse a una altura equivalente a la posición sentada para evitar vértigo. Al presentar vídeos instructivos, los elementos clave deben situarse dentro del campo visual principal del usuario para garantizar que no se pierda información esencial.

Cualquier desajuste en estos elementos podría causar mareos o aumentar el miedo en lugar de favorecer una exposición segura. Esto es especialmente crítico en entornos terapéuticos, como en la terapia de exposición para fobias o trastornos de ansiedad, donde se muestran estímulos temidos. Una mala planificación podría resultar en una experiencia contraproducente, intensificando la aversión del paciente al estímulo o a la tecnología misma, en lugar de facilitar la habituación y la reducción del miedo. Por ello, es esencial que el diseño del contenido inmersivo esté alineado con los objetivos terapéuticos y las necesidades psicológicas de la persona.

Interacciones accesibles

Proporcionar a los participantes sesiones dedicadas a aprender cómo interactuar con los entornos virtuales con algo de libertad resultó fundamental, ya fuera mediante movimientos de cabeza o mediante controladores. En estas pruebas se observó que para participantes con limitaciones motoras que afectan al uso de las manos o de los mandos, las interacciones basadas en la cabeza ofrecieron una alternativa útil.

Sin embargo, es importante tener en cuenta la flexibilidad que ofrecen los mandos, sus funcionalidades y las aplicaciones ya que si hay reglas establecidas y no se pueden modificar, esto podría causar confusión entre las personas que utilizan la tecnología. Esto sucedió ya que había un botón del mando más intuitivo para los participantes pero que al ser integrado con otras piezas no modificables hizo que no pudiera utilizarse para la función asignada y se tuviera que cambiar de botón. En este sentido, cuanto más flexibles son los sistemas, más accesibles resultan. Estandarizar una sola interacción coherente, incluso si inicialmente implicaba un mayor esfuerzo, simplificó el aprendizaje y redujo errores.

Otra lección importante fue que, cuando los usuarios deben interactuar con la realidad física mientras llevan un HMD, como ocurre en las tareas de cocina en realidad mixta, los métodos de interacción deberían evitar la necesidad de utilizar hardware adicional siempre que sea posible, por ejemplo, mandos. Las interfaces naturales, como hacer gestos con las manos fueron, en este caso de uso, una opción muy intuitiva. De hecho, observamos que interactuar con elementos virtuales, como con un reproductor de vídeos en el entorno virtual, se vuelve significativamente más intuitivo cuando la interfaz utiliza botones que se asemejan a los que los usuarios ya conocen de plataformas digitales cotidianas.

Elementos accesibles sin requisitos de alfabetización

Algunos usuarios con discapacidad intelectual pueden tener dificultades para leer o escribir. Por ello, todos los elementos interactivos y componentes instructivos deben ser comprensibles sin depender de texto. Esto garantiza que la aplicación inmersiva pueda utilizarse de manera independiente, independientemente del nivel de alfabetización. Todas las instrucciones audio, como indicaciones, guías y retroalimentación, deben proporcionarse mediante mensajes de audio pregrabados. Las instrucciones de audio deben ser claras, breves y coherentes en vocabulario.

Los elementos iconográficos empleados en las experiencias deben basarse en símbolos intuitivos y no textuales. Los iconos deben ser simples, de alto contraste y de tamaño suficientemente grande para facilitar reconocimiento y comprensión. Asociar iconos con señales de audio breves puede mejorar su identificación y ofrecer retroalimentación inmediata. Por ejemplo, en tareas cognitivas, un sonido positivo puede indicar éxito y otro distinto puede señalar un error.

Además, es esencial probar cualquier diseño visual que requiera que los usuarios enfoquen, señalen o interpreten elementos una vez desplegado en el entorno XR, porque la agudeza visual y la percepción cambian sustancialmente al pasar de prototipos 2D o no inmersivos a contextos 3D inmersivos. Esta necesidad de adaptación se hizo evidente en varias partes del proyecto: rotar videos 360° requirió un reajuste cuidadoso para asegurar que los usuarios siempre miraran hacia la zona instructiva relevante; el sistema de telepresencia necesitó la integración de una función de lupa para que los profesionales pudieran inspeccionar detalles finos durante la supervisión remota; y en el video que mostraba el horno industrial, fue necesario insertar elementos en primer plano para mostrar claramente los botones y configuraciones exactos, que no eran suficientemente visibles en la grabación original.

Proceso de calibración del seguimiento ocular

La inclusión de una escena de calibración de ET basada en pegatinas y diseñada de forma amigable aportó varios beneficios. Desde una perspectiva analítica, proporcionó una forma de evaluar la precisión de la calibración y calcular errores para los participantes que no podían completar la calibración integrada del sistema.

Al mismo tiempo, los participantes que experimentaban errores de calibración a menudo se frustraban antes de iniciar el entrenamiento, interpretando el problema como un fallo personal. El diseño amigable de la escena de calibración alternativa, que siempre terminaba con éxito, ayudó a reducir esta ansiedad al convertir el proceso en una actividad atractiva en lugar de un obstáculo técnico, proporcionando un comienzo más favorable para la sesión.

Terapia conductual: inclusión de escenarios amistosos del estímulo temido

En el diseño de experiencias inmersivas para el tratamiento de fobias mediante desensibilización sistemática, es necesario incluir escenarios intermedios amistosos del estímulo temido, en lugar de pasar directamente de estímulos relajantes a la situación temida. Una exposición demasiado directa puede resultar abrupta y aumentar la ansiedad. Los escenarios amistosos representan versiones de baja intensidad del estímulo temido, reconocibles, pero menos amenazantes. Es esencial que estos escenarios incluyan todos los elementos necesarios para mantener el realismo; la ausencia de alguno podría convertir accidentalmente la experiencia en algo más temible.

1.3.2 Despliegue de aplicaciones y servicios XR en instituciones de atención psicosocial y otros verticales

Redes 5G privadas

Una red 5G privada es la base para ofrecer servicios XR en verticales, al proporcionar control total del entorno radio y del plano de datos. Sus principales ventajas son el aislamiento respecto a otras redes, la garantía de QoS para latencia/jitter y una cobertura fiable ajustada al plano de planta del centro. Para evitar cuellos de botella, es clave gestionar de forma inteligente el ancho de banda mediante priorización de tráfico, políticas de admisión y, cuando aplique, slicing o QoS por flujo.

Despliegue de Edge

Para XR, conviene desplegar un edge autocontenido con core 5G, capacidad de proceso (CPU/GPU), almacenamiento y un sistema de observabilidad completo en los servidores del borde. La salida a internet debe hacerse por N6 (IP breakout) con controles de seguridad y de egress bien definidos. El Edge se debe diseñar como una arquitectura de servicios que puedan replicarse, escalar horizontalmente y apagarse/encenderse según el caso de uso y la demanda. Para servicios especializados de XR, con alta carga por servicio y pocos usuarios concurrentes, se puede usar una arquitectura mixta basada en máquinas virtuales para el diseño de las redes y asignación gruesa de los recursos; y contenedores para el despliegue software y la configuración de los distintos casos de uso.

Aislamiento de red y VPNs

El aislamiento de red es crítico tanto para mantener QoS como para proteger la privacidad de los usuarios y sus datos. La visibilidad local a nivel IP (misma LAN o subred controlada) simplifica el descubrimiento y despliegue de servicios XR, reduciendo latencia y problemas de NAT. Cualquier nodo externo (p. ej., pisos tutelados o sedes remotas) debe incorporarse mediante VPN para quedar lógicamente dentro del mismo dominio, heredando las mismas políticas de aislamiento.

Instrumentación y monitorización

La monitorización end-to-end de la red, el edge y las aplicaciones XR es imprescindible para diagnosticar rápidamente problemas y prevenir degradaciones. En primer lugar, se debe monitorizar el estado operacional del servicio y sus componentes. Además, se deben definir y vigilar KPIs clave como latencia RTT, pérdida de paquetes, throughput, RSRP/SINR del UE, y uso de CPU/GPU/memoria en el edge, además de métricas de aplicación (FPS, tiempo de frame, latencia extremo a extremo, ...). Un modelo paramétrico de QoE permite inferir, a partir de estos KPIs, la calidad aproximada percibida por el usuario.

Seguridad y privacidad de los datos

Los datos manejados en contextos psicosociales son especialmente sensibles y deben protegerse con medidas técnicas y organizativas robustas. Una solución basada en nodo 5G, edge autocontenido y VPN asegura que los datos permanezcan en las instalaciones de la Fundación o entidad servida.

Acceso y soporte remoto

En centros no especializados pueden surgir incidencias poco habituales (apagones, desconexiones, cambios de cableado) que requieren capacidad de soporte ágil. Para ello, se debe habilitar un acceso remoto seguro a los servicios mediante VPN y, preferentemente, un bastión host con autenticación fuerte y control de sesiones. Conviene definir playbooks operativos (reinicio controlado, comprobaciones de salud, rollback de versiones) y emplear herramientas de gestión remota para reducir tiempos de diagnóstico. Dado que típicamente



los recursos disponibles para soporte son limitados, es muy importante apoyarse en herramientas de diagnóstico sencillas que permitan identificar los problemas principales, así como en soluciones robustas de arranque del sistema para llegar a un estado conocido, aun a costa de interrupciones el servicio (que pueden ser tolerables en estos casos).

2 Calidad de experiencia e interacción en el INCLUVERSO 5G

2.1 Conclusiones de los aspectos de la tecnología relacionados con QoE

2.1.1 Aspectos metodológicos

Fundamentos teóricos

La Figura 4 muestra, de forma simplificada, el marco de análisis de la QoE que se ha empleado en el proyecto. Este marco captura los principales factores para el análisis de la calidad de experiencia proporcionada por la tecnología XR para un caso de uso concreto. Los principales factores técnicos que afectan a la QoE están en la fila superior, y los componentes de QoE medidos en la inferior. Las flechas representan dependencia y la ausencia de flechas, ausencia de influencia directa.

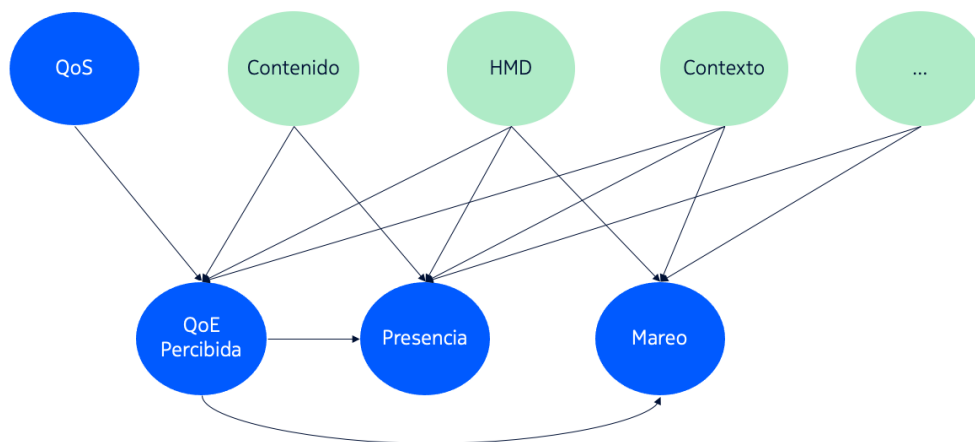


Figura 4: Marco teórico del análisis de QoE en Incluverso 5G

Las dos principales características de este marco son:

- La QoE percibida (medida o modelada mediante el MOS perceptual) depende del contenido, la calidad con la que se transmite (QoS), los dispositivos en los que se visualiza y el contexto de uso.
- La QoE percibida captura todo el efecto del sistema (QoS) en el resto de componentes de QoE (presencia, mareo, etc.).

Modelos paramétricos parsimoniosos

Para modelar la dependencia de la QoE con la QoS se ha desarrollado un modelo genérico de QoE, que permite adaptar fácilmente distintos servicios, y que se ha adaptado a los tres escenarios técnicos del proyecto. Al contrario que la mayor parte de los modelos paramétricos que existen en los estándares, el modelo propuesto se basa en el principio del *a parsimonia*: emplear el menor número de variables posible para explicar la mayor cantidad posible de información. Este principio permite diseñar modelos con precisión suficiente (es decir, que capturan el principal efecto de la QoS en la QoE) para casos de uso nuevos.

Cuestionarios y escalas adaptados

En el proyecto se han empleado cuestionarios y escalas adaptados a personas con discapacidad, empleando un lenguaje más accesible y reduciendo el número de niveles en las escalas de respuesta. Los resultados, sin embargo, son muy similares a los obtenidos cuando el estudio se hace con personas sin discapacidad y los cuestionarios originales. Esto indica que es posible simplificar el lenguaje de los cuestionarios para hacerlos más accesibles a toda la población, y que el impacto en la fiabilidad del resultado va a ser mínimo.

Análisis cualitativo: entrevistas semiestructuradas

Para la evaluación de experiencias complejas, como casos de uso basados en realidad extendida, el uso de cuestionarios presenta limitaciones importantes. Por un lado, es difícil capturar de antemano todos los aspectos relevantes de la QoE del escenario, salvo que se empleen cuestionarios muy largos (lo que tiene sus propios problemas de fiabilidad y carga cognitiva); por otro, las limitaciones en cuanto al número de usuarios y la capacidad de variar las condiciones de prueba hacen difícil diseñar experimentos significativos donde se pueda hacer un contraste de hipótesis con validez estadística. Frente a estas limitaciones, conviene complementar los cuestionarios con entrevistas semiestructuradas. Una entrevista

semiestructurada es una técnica cualitativa que usa preguntas abiertas guiadas por un guion flexible para explorar en profundidad la experiencia del usuario. Su análisis se realiza con métodos cualitativos (p. ej., codificación temática o análisis de contenido) para identificar patrones y temas, que pueden triangularse con datos de cuestionarios.

Análisis exploratorio y diseño de cuestionarios

Los cuestionarios validados más populares que se usan en la investigación XR para medir sensación de presencia o mareo tienen ya más de 20 años y fueron desarrollados en un contexto tecnológico muy diferente al actual. Para evaluar aproximaciones novedosas a la tecnología XR es más adecuado diseñar cuestionarios que capturen los principales factores que se necesitan medir. Dado que el desarrollo de cuestionarios psicométricos estándares es muy costoso, es más recomendable adaptarlos a partir de cuestionarios existentes o del resultado de entrevistas. En el primer caso, se puede partir de cuestionarios amplios y elegir (y, si es preciso, adaptar) los ítems que mejor reflejen las condiciones que se quieren medir, preferiblemente a partir de resultados de algún experimento. En el segundo, se trata de identificar los principales factores descritos por los usuarios en las entrevistas y preguntar específicamente por ellos en cuestionarios ad-hoc.

Compromiso entre precisión y validez externa

El desarrollo y evaluación de los casos de uso se ha hecho a través de grupos de unos 10 participantes durante unos 4 meses. Estos estudios son mucho más costosos que un experimento puntual con condiciones controladas. Sin embargo, en un experimento puntual es posible tener más participantes y aislar las condiciones de prueba, lo que permite obtener resultados cuantitativos más precisos. Por el contrario, la evaluación longitudinal de un caso de uso a lo largo del tiempo es más cercana al uso real de la tecnología, lo que le otorga una mayor validez externa. En muchos casos, esta validez externa es preferible a la precisión, en particular para identificar los principales factores de aceptación o rechazo de la tecnología.

2.1.2 Calidad de experiencia en Incluverso 5G

Calidad de servicio en redes privadas 5G

Las aplicaciones de XR basadas en vídeo requieren tener recursos de comunicaciones garantizados especialmente en el enlace de subida (uplink). Para estos servicios resulta conveniente disponer de redes privadas con garantía de calidad de servicio como pueden ser las redes móviles 5G. Una red privada en banda n40 en régimen de autoprestación tiene limitada la capacidad de ancho de banda a 20 MHz por normativa que, con la capacidad actual de redes 5G avanzadas, admite una tasa binaria de pico de unos 30 Mbps en condiciones óptimas. Para poder garantizar el servicio de XR es preciso controlar la QoS de los flujos de vídeo asociados. Lo más conveniente es definir un slice adaptado a las condiciones de tráfico esperadas y separar los flujos de XR del resto de tráfico de la red. Con esa configuración es posible desplegar casos de uso de XR basados en escenarios de teleportación virtual, computación delegada en el Edge, y/o regulación emocional, en las instalaciones de una organización como la Fundación Juan XXIII, empleando un único nodo 5G con una antena omnidireccional.

Calidad de experiencia percibida por el usuario

Una de las características principales de las tecnologías de XR basadas en vídeo (vídeo 360°, nubes de puntos, avatares basados en vídeo, etc.) es que, debido a la complejidad tecnológica, la calidad visual que ofrecen suele ser inferior a los servicios equivalentes en vídeo convencional (como un contenido o videollamada en 4K); y compensan esta menor calidad ofreciendo un mayor grado de inmersión. Sin embargo, las mejoras en el hardware de los HMDs actuales (como las Meta Quest 3) hace que sea posible ofrecer una calidad visual (o “QoE percibida”) mucho más alta que lo que era posible en el pasado, siempre y cuando la propia tecnología XR proporcione contenido con suficiente calidad. Esto se ha observado en el proyecto al obtener valores MOS muy altos para las últimas versiones de telepresencia (Snowl) y para los algoritmos de interacción natural.

Sensación de presencia y aspectos socioemocionales

La sensación de presencia (espacial, social y autónoma) que proporcionan las tecnologías XR basadas en vídeo es muy alta. Esto las hace especialmente adecuadas para casos de uso que requieren alta inmersión (como los de terapia o entrenamiento) o percepción del espacio (como en telepresencia o teleformación). Para aplicaciones donde la presencia espacial está

ligada al contenido de vídeo (como puede ser las basadas en vídeo 360º), las mejoras en la QoE percibida impactan también en una mejora en la inmersión y sensación de presencia.

Carga cognitiva y cibermareo

La tecnología XR actual hace que, al menos en la población estudiada, no haya síntomas significativos de mareo en la mayor parte de las personas que participan en experiencias inmersivas, siempre que se respeten los tiempos de exposición recomendados (sesiones continuas de unos 20 minutos de duración máxima). Esto se mantiene incluso si se introducen tecnologías experimentales como la presencia autónoma a través del vídeo de tu propio cuerpo en tiempo real (avatares propios basados en vídeo). Sí puede haber síntomas de mareo, por el contrario, para exposiciones más largas como las asociadas a la teleportación virtual (o telepresencia inmersiva) de un experto remoto, como se ha visto en los casos de telepresencia en pisos y teleformación. Como en el caso anterior, estos síntomas se mitigan de forma significativa si la QoE percibida es mejor, ya que se reduce el esfuerzo visual realizado por el usuario.

Aceptación de la tecnología

Las tecnologías inmersivas siguen requiriendo de una curva de aprendizaje muy importante para su uso por parte de población sin conocimientos tecnológicos profundos (no necesariamente con discapacidad). Por ello, la aceptación pasa por una fuerte simplificación y adaptación de las tecnologías a las necesidades y capacidades de los usuarios. Ofrecer una buena calidad de experiencia, incluyendo alta sensación de presencia y suficiente confort, es una condición necesaria para que la tecnología se pueda adoptar, pero no es suficiente. Es preciso, además, proporcionar facilidad de uso, robustez (combinada con atención rápida a los problemas técnicos que aparezcan) y adaptabilidad a las necesidades concretas que aparezcan en cada momento.

2.2 Conclusiones de los aspectos de la tecnología relacionados con la calidad de interacción persona-computadora

Priorizar comunicación visual intuitiva basada en símbolos

En las aplicaciones XR, el uso de texto puede generar malinterpretaciones o sobrecarga cognitiva, especialmente en usuarios con distintos niveles de alfabetización o bajo estrés. Las interfaces basadas en símbolos facilitan la comprensión y reducen el tiempo de aprendizaje. Este enfoque se aplica en terapias de fobias (evaluación emocional por símbolos), tareas físicas (iconos familiares para controlar vídeos) y ejercicios cognitivos (indicadores visuales claros de progreso y retroalimentación).

Validar la claridad visual dentro del entorno inmersivo

La percepción visual cambia significativamente al pasar de maquetas 2D a entornos XR. Por ello, los elementos relacionados con enfoque, interpretación y señalización deben probarse siempre dentro del visor. Esto incluye verificar que:

- Los estímulos 360° se alinean correctamente al girar.
- Los detalles de los objetos siguen siendo legibles (en ocasiones se requieren ampliaciones o insertos cercanos).
- Las transiciones son suaves para evitar desorientación.
- Las representaciones corporales capturan con precisión al usuario, a menudo necesitando algoritmos personalizados cuando los sistemas de avatar incorporados no son suficientes.

Estos ajustes son necesarios en terapia de exposición, monitorización telepresencial y entrenamiento en realidad mixta.

Interacción con el entorno XR

Los métodos de interacción deben ajustarse a las capacidades físicas del usuario y a las demandas de la tarea. Cuando los usuarios manipulan objetos reales, mantienen el equilibrio o realizan acciones de motricidad fina, la interacción manos libres mediante seguimiento de manos, gestos o comandos de voz suele ser más eficaz y segura que el uso de controladores. Si se emplean controladores, debe verificarse que los usuarios pueden sostenerlos con comodidad, mantener la fuerza de agarre y pulsar botones sin dificultad, teniendo en cuenta discapacidades motoras, fatiga o condiciones contextuales como guantes o herramientas. El

testeo con usuarios representativos es esencial para asegurar que los controladores no introducen barreras o riesgos. Siempre debe considerarse una alternativa manos libres cuando el uso del controlador resulte limitante.

Gestionar la carga perceptiva y cognitiva mediante adaptación

Los usuarios se benefician de fases de adaptación estructuradas cuando se introducen en passthrough MR, estímulos realistas o entornos espacialmente complejos. La adaptación reduce incomodidad, facilita la interpretación de señales de profundidad y mejora el rendimiento. Las dificultades de las tareas cognitivas deben definirse mediante pruebas piloto y ajustarse de manera dinámica. Con contenido emocionalmente intenso o muy realista, las sesiones de adaptación ayudan a controlar la ansiedad sin perder efectividad terapéutica.

Diseñar el espacio XR y los estímulos a escala realista

Los entornos XR deben respetar el realismo espacial para permitir interacciones naturales. El diseño a escala 1:1 ayuda a los usuarios a juzgar distancias, interactuar con precisión y evitar distorsiones perceptivas. Esto es relevante para objetos cotidianos, entornos terapéuticos y tareas de razonamiento espacial. La escala correcta mejora la usabilidad y reduce errores.

Proporcionar retroalimentación multisensorial suave y contextual

La retroalimentación visual y sonora debe ser coherente con el contexto, fácil de distinguir y adecuada al estado emocional del usuario. Es crucial reforzar señales visuales y auditivas para que el usuario comprenda claramente cada evento, como un error o la finalización de un nivel. Al usar vídeo o audio, debe evitarse una retroalimentación que rompa la inmersión; por ejemplo, en terapias de fobia se evita incluir la voz de la terapeuta para no confundir al usuario y reducir la presencia.

Fortalecer la monitorización remota mediante herramientas prácticas

La interfaz de monitorización de la terapeuta debe ser simple y evitar configuraciones complejas. La gestión de la sesión ya es exigente; añadir dificultad técnica puede obstaculizarla. Cuanto más automático sea el sistema de monitorización, mejor. La interfaz

debe incluir monitorización del campo visual del usuario, controles claros para modificar la experiencia e información relevante en una sola pantalla.

Anticipar requisitos para la interpretación controlada de datos

Las señales fisiológicas como EMG, biosensores o seguimiento ocular suelen requerir postprocesado debido al ruido, limitaciones del hardware o la falta de APIs. La interpretación en tiempo real suele ser poco fiable, por lo que el análisis offline es necesario para obtener una valoración precisa emocional o cognitiva. La calibración del seguimiento ocular puede requerir escenas dedicadas para garantizar precisión constante entre usuarios y sesiones.

Emplear pruebas iterativas para ajustar dificultad y flujo de sesión

En experiencias como módulos de entrenamiento cognitivo o niveles gamificados, las pruebas empíricas son necesarias para identificar sensibilidades y rangos de rendimiento imposibles de anticipar solo desde el diseño. Los entornos inmersivos aumentan la carga cognitiva, por lo que la iteración es esencial para equilibrar desafío y accesibilidad.

3 Evaluación del INCLUVERSO 5G para la inclusión

3.1 Diseño inclusivo: inclusión de profesionales y personas usuarias

Al desarrollar enfoques inclusivos para personas con discapacidad intelectual, su participación debe considerarse desde las primeras fases de ideación hasta la implementación final. Son quienes mejor conocen sus propias experiencias, y su implicación garantiza que las soluciones respondan a necesidades reales, sean significativas y favorezcan la aceptación y la usabilidad. La inclusión de profesionales también es esencial. Aportan experiencia, garantizan seguridad y ayudan a traducir los objetivos terapéuticos en requisitos prácticos de diseño. Su participación complementa el trabajo de ingenieros y diseñadores al alinear la tecnología con sistemas funcionales.

El proceso de co-diseño debe orientarse a resolver problemas reales, explorar experiencias inmersivas necesarias y atractivas, seleccionar o desarrollar tecnologías que permitan interacciones inclusivas y accesibles y aplicar un enfoque iterativo con múltiples prototipos probados por profesionales y personas usuarias.

Este proceso de co-diseño fue imprescindible para garantizar el correcto funcionamiento de cada una de las herramientas desarrolladas teniendo en cuenta, además, que se realizó una evaluación continua de uso por parte de los participantes y la terapeuta, para poder introducir las mejoras necesarias y comprobarlas en las siguientes sesiones o iteraciones.

Participación de los participantes en el proceso de co-diseño.

Involucrar a los participantes a lo largo del proceso de diseño y desarrollo resultó fundamental. Sus aportes ayudaron a evitar suposiciones incorrectas, guiaron mejoras iterativas y aseguraron que los sistemas resultantes fueran accesibles y significativos para los usuarios objetivo.

Desde el inicio del proyecto, teniendo en cuenta las líneas base para el desarrollo del mismo, se analizaron las necesidades reales de las personas usuarias del centro ocupacional de

Fundación Juan XXIII, que siguieron la línea de cada caso de uso, adaptándolas a la práctica en la terapia, la formación y la telepresencia.

En el caso de uso de terapia, reunidos el equipo de psicología, se valoró poder utilizar la tecnología para tratar fobias, aunque se decide finalmente utilizar el término miedo, debido a que, en ninguno de los casos, había una fobia diagnosticada como tal. Sin embargo, por el conocimiento sobre las limitaciones de los usuarios, era conocido que había varias personas a las que algunos de sus miedos, les limitaban. Por ello, se realizó una encuesta a todas las personas de centros, solicitando si tenían algún miedo susceptible de ser tratado en terapia de desensibilización, ofreciendo algunos ejemplos. El mayoritario, y que fue contrastado además con sus familias en entrevistas telefónicas, fue el miedo a las escaleras.

La VR es ya una tecnología utilizada por psicólogos en consulta, también para realizar tratamientos de fobias. A través de la desensibilización o la exposición, técnicas conductuales clásicas de tratamiento, se introduce la VR para facilitar el acceso a entornos que, en condiciones reales, serían de difícil acceso o muy costosos, así como que se desarrollan en un entorno seguro y controlado. Sin embargo, las PCDI pueden verse limitadas por algunos aspectos, como la dificultad que pueden presentar en los nuevos aprendizajes, más en el uso de la tecnología, sin las adaptaciones necesarias, o la generación de las jerarquías de los elementos temidos sin apoyos visuales personalizados, así como el uso de la imaginación o la puesta en marcha de procesos de relajación, necesarios para llevar a cabo esta técnica, para los que también se utilizó la VR individualizada.

Este proceso de individualización de la técnica clásica de desensibilización usando la VR fue clave para garantizar la usabilidad y el éxito de los resultados de este caso de uso, que permitió comprobar como personas que tenían que ir sujetas a otros para bajar una escalera, que tenían sintomatología física como sudores, temblor o aumento del ritmo cardiaco y que buscaban cualquier alternativa por no acceder a algunas escaleras, pudieron hacerlo de forma tranquila y autónoma, obteniendo un 100% de los resultados esperados.

Para definir el caso de uso de terapia cognitiva y tecnología para la formación, el equipo de profesionales de centro ocupacional pusieron el foco en el área de inserción laboral del

centro ocupacional a través de dos vertientes de intervención, por un lado, para mejorar algunas de sus capacidades cognitivas, por otro, aumentar sus oportunidades de formación.

Es una realidad que las personas con discapacidad tienen más dificultad de acceso al empleo ordinario que la población sin discapacidad, situándose su tasa de empleo en un 28,5% en comparación con el 69% de la población general. Si específicamente nos centramos en la discapacidad de tipo intelectual, la tasa desciende al 21,9%, según un estudio del INE de 2023.

Aunque según el Observatorio Estatal de Discapacidad respecto a 2022, la discapacidad intelectual fue una, entre otras, de las que más aumentó su tasa de actividad, la realidad, es que sigue siendo notablemente inferior a la mayoría de tipos de discapacidad.

Esto puede explicarse porque las leyes para la inclusión de personas con discapacidad se adecúan mejor para personas con diversidades físicas y no tanto para diversidades cognitivas. También porque sus capacidades, como las del resto de personas, no son adecuadas para el desempeño de cualquier trabajo, pero en el caso de las PCDI las oportunidades laborales en algunos sectores son escasas e incluso, inexistentes. En este caso, nos encontramos con una demanda mayor en los puestos de reponedores/vendedores, y de auxiliar de oficina, según una encuesta de la Fundación Síndrome de Down en 2025. Y aunque contamos con programas como Empleo con Apoyo (EcA) o los Servicios de Provisión de Apoyos para la Inserción Laboral (SERPAIS), no cubren las necesidades de ciertos perfiles de PCDI que aún no están preparados para el acceso a éstos.

Además, en la rutina diaria del área de inserción laboral del centro ocupacional, los profesionales pertenecientes al área que trabajan para potenciar la adquisición de habilidades sociales, laborales y la mejora de las aptitudes personales necesarias para acceder al mercado de trabajo de las PCDI, manifiestan preocupación por la dificultad notable de alguna de estas personas para mantenerse concentrados y desarrollar actividades ocupacionales y formativas de principio a fin sin constates interrupciones, cambios de atención frecuentes, cansancio, distracción, llamadas continuas al profesional, conductas impulsivas, omisión en la detección de errores, y otros aspectos relacionados con su

capacidad de atención e inhibición de respuesta, que chocan frontalmente con su motivación principal de encontrar un trabajo.

Basándonos en las entrevistas de orientación vocacional de las personas usuarias del área de inserción laboral del centro ocupacional, todos manifiestan interés por desarrollarse profesionalmente en el ámbito de la restauración como camarero, auxiliar de cocina o repostería, así como vendedor/reponedor de tienda o supermercado. A partir de esta información, se desarrollaron las dos partes que componen este caso de uso, por un lado, la creación de esta herramienta individualizada de entrenamiento cognitivo, focalizando mejorar la atención y la inhibición de respuesta de los participantes, aspectos fundamentales para la formación y el acceso y mantenimiento de un puesto de trabajo, y, por otro lado, la adaptación del curso de repostería perteneciente al Centro de Formación para el Empleo de la Fundación Juan XXIII, que cuenta con certificado profesional, para facilitar el seguimiento del mismo utilizando para ello el prototipo búho.

En este contexto, se escoge a un grupo de personas que presentan dificultades atencionales, entendiendo que éstas les limitan en sus oportunidades laborales, esto es, encontrar un trabajo y mantenerlo, y otro grupo de personas que deseen acceder a un curso de formación, especialmente de repostería, para aumentar sus oportunidades de acceso al mismo.

Son personas con perfil de empleabilidad y motivación para el empleo que requieren un proceso de capacitación y apoyos para el trabajo y la participación social al no estar en condiciones de acceder directamente al mundo laboral ni de enfrentarse o manejar, de un modo autónomo, las diferentes exigencias que implica la inserción laboral.

Así se desarrollaron los dos programas de intervención para fomentar la capacidad formativo-laboral de PCDI.

El primero, basado en entrenamiento en atención e inhibición de respuesta, se realizó desde el inicio a través de un diseño conjunto entre profesionales especialistas en discapacidad intelectual, un grupo de investigadores y desarrolladores y los sujetos participantes del programa, con el objetivo de crear un sistema motivador, accesible y, al mismo tiempo, práctico.

Para la selección inicial se orientó a priorizar a los individuos que, según la valoración del equipo, podrían beneficiarse en mayor medida de la intervención. A todos ellos se les administró una serie de instrumentos estandarizados y se seleccionó a aquellos 8 individuos que obtuvieron las puntuaciones más bajas en dichas medidas, entendidas estas como indicativas de mayores dificultades atencionales y, por tanto, de una mayor necesidad potencial de intervención.

Para el caso de tele-formación, se escogió a las 10 personas que demandaban poder acceder al curso de repostería del Centro de Formación para el Empleo de Fundación Juan XXIII.

Fue muy interesante determinar en este caso, que tanto la profesora que realizaba as tutorizaciones en remoto, como los propios/as participantes, explicaban que el uso de las gafas VR les asilaba de los distractores tanto visuales como auditivos, mientras visualizaban los videos o realizaban la tarea durante la tutorización de la profesora, y esto permitían que pudieran realizar la receta de manera más constante y autónoma. La posibilidad de utilizar botones virtuales, adaptados ad hoc para los participantes, consiguieron disminuir las preguntas a la profesora, evitando así las pérdidas de tiempo, facilitando la consecución de los pasos a seguir con mayor seguridad y autonomía en el desarrollo del trabajo.

El caso de uso de telepresencia se desarrolló para fomentar la autonomía de las PCDI en su día a día en un piso supervisado.

La realidad que viven muchas PCDI está muy alejada de la idea de tener una independencia como la mayoría de las personas adultas. En ocasiones, porque sus propias necesidades de apoyo hacen muy difícil que puedan lograrlo, en otras, porque sus miedos y el de sus familiares, limitan sus aprendizajes y oportunidades de conseguirlo. La confianza en las entidades y los profesionales que las componen, permiten en ocasiones abrir la posibilidad de valorar que, con entrenamiento y apoyos, muchas PCDI pueden vivir de manera autónoma.

Existen varias tipologías de pisos: entrenamiento, en los que se aprende, pero no se vive, supervisados, en los que se aprende y vive y que cuentan con apoyos puntuales, y tutelados, en los que se aprende y vive y que cuentan con apoyos profesionales permanentes en la

vivienda. Así como pueden ser públicos, gestionados por entidades públicas o privadas y subvencionados por la comunidad autónoma. Fundación Juan XXIII cuenta con varios pisos de diversas tipologías, uno con un carácter especial, ya que es un piso particular de un usuario de centro ocupacional, que, al quedar huérfano, decidió compartirlo con otros compañeros, y contar con los apoyos profesionales de Fundación Juan XXIII. Esto supuso una gran apuesta y un gran avance por parte de usuarios y familias para fomentar la inclusión real de las PCDI en la comunidad.

Los apoyos que reciben estas tres personas por parte de los profesionales no son solo aprendizajes prácticos para realizar tareas del hogar, también su presencia diaria permite gestionar emociones, conflictos propios de la convivencia, búsqueda de oportunidades de ocio, gestión para la toma de decisiones, etc.... esta presencia puntual tiene ventajas e inconvenientes. Por un lado, puede no estar para atender urgencias de manera real, si no es por teléfono sin poder valorar la situación como si la estuviera viendo, y eso es una desventaja, y en ocasiones, su ausencia puede provocar mayor independencia por parte de los convivientes, lo que ofrece una ventaja. Aunando estas dos condiciones, encontramos un gap en el que la tecnología de telepresencia puede ofrecer nuevas maneras de intervención, la ventaja de estar presente, sin estar físicamente en el domicilio.

Mientras el equipo valoraba los aspectos en los que podría beneficiar el búho en el fomento de la vida independiente de las personas participantes, un usuario sufrió un corte en el dedo de cierta gravedad. El monitor responsable, que en ese momento se encontraba en su propio domicilio fuera de su horario laboral, tuvo que interpretar la situación y actuar en consecuencia, a través de una video llamada, dependiendo del uso del móvil de un compañero de piso nervioso, por lo que fue una tarea complicada que finalmente se derivó al servicio de urgencias.

Claramente entendimos que tener en el piso una cámara que fuera capaz de transmitir en directo vídeo y voz, y que el profesional a través de unas gafas VR conectadas, pudiera ver un espacio 360 grados, sin necesidad de enfocar una imagen concreta que dependa de otra persona, podía traer muy buenos resultados.

Así mismo, poder hacer un apoyo, en ocasiones a través de una guía verbal basada en instrucciones, o la supervisión de algunas tareas, proporcionaba a las personas una sensación de independencia y de seguridad a la vez.

Sesiones de familiarización tecnológica

En la planificación de actividades de co-diseño, un primer paso esencial es incluir sesiones de familiarización tecnológica. Estas sesiones ayudan a las personas participantes a ganar confianza y reducir la ansiedad al interactuar con nuevas tecnologías, especialmente sistemas inmersivos. La familiarización debe ofrecer una introducción tranquila y positiva, utilizando escenarios de baja estimulación y contenido relajante para facilitar una primera experiencia cómoda. También debe permitir la exploración de interacciones básicas, como desplazarse por un entorno virtual u observar elementos, antes de avanzar hacia tareas más complejas. Además, debe atender cualquier molestia física, como incomodidad con el visor o mareo, para adaptar la experiencia según sea necesario.

Estas sesiones iniciales tienen como propósito familiarizar a los participantes con el uso de dispositivos VR especialmente con las gafas y los mandos. Dado que se trata de una tecnología novedosa para ellos, es fundamental generar un primer contacto que permita reducir posibles niveles de ansiedad o rechazo hacia los dispositivos, y favorecer una actitud positiva hacia su uso.

Durante estas sesiones, los participantes deben estar sentados y se les presentan entornos visualmente atractivos, pero no interactivos, como un bosque o una playa. Estos escenarios son seleccionados por su carácter calmado y estimulante, con el fin de promover una experiencia sensorial agradable, facilitar la adaptación progresiva al entorno inmersivo, y evitar una sobrecarga cognitiva o emocional, permitiendo que los participantes se acostumbren a la percepción 360°, al campo visual ampliado, y a las sensaciones físicas derivadas del uso del dispositivo, antes de introducir tareas más complejas.

Sesiones de entrenamiento en la interacción

Para interacciones que no son intuitivas, el método debe incluir sesiones de entrenamiento específicas. Estas sesiones permiten que las personas participantes se familiaricen con los

controles y las interacciones antes de pasar a tareas más complejas. Se les invita a actuar de manera libre y todo lo natural posible, a través de distintos escenarios, sin preocupación por equivocarse. La práctica guiada en un entorno de baja presión reduce la confusión y garantiza que puedan participar de forma eficaz en la actividad principal.

El objetivo de esta fase es que los participantes adquieran las siguientes habilidades básicas necesarias para interactuar con los entornos virtuales de forma autónoma y segura, sin exigencias cognitivas significativas.

Estas sesiones de entrenamiento han sido fundamentales sobre todo en el caso de uso de entrenamiento cognitivo, ya que exigía mucha interacción con la tecnología y a su vez, gran cantidad de movimientos y desplazamientos.

El entrenamiento en entornos virtuales exige una familiarización inicial con los mismos para asegurar una relación satisfactoria entre la persona y la tecnología. Fue evidente como la seguridad y la confianza de los participantes iba en aumento a través de las sesiones de entrenamiento, mostrándose más orientados en el espacio, más seguros en el desplazamiento, con menos preguntas a la terapeuta, es decir, más autónomos, y con sensaciones positivas, de haberlo hecho bien, sesión tras sesión.

Basándonos en los principios clave del aprendizaje, entendemos que estas sesiones han servido tanto para el desarrollo de habilidades por práctica y repetición, como el uso de los mandos, pero también para ganar confianza en sí mismos y sentirse agentes directos de la mejora de la actividad que están desarrollando, ya que sus comentarios de retroalimentación son los más importantes a tener en cuenta. Entendemos que el respeto de su ritmo individual de aprendizaje, principio clave también en este aspecto, y la personalización de las tareas desde el co-diseño, hacen que aumente la motivación, y por tanto, su satisfacción y compromiso.

3.2 Metodología de evaluación

Para garantizar tanto la validez del estudio como la seguridad de los participantes, se deben establecer criterios rigurosos de inclusión y exclusión. En este caso, debieran ser: edad igual

o superior a 18 años, diagnóstico formal de discapacidad intelectual y la ausencia de condiciones médicas o psiquiátricas que pudieran interferir con la participación activa en el programa. Se excluyen aquellos individuos con alteraciones motoras severas, debido a que estas condiciones podrían comprometer la adecuada utilización de los dispositivos.

Asimismo, se garantiza la obtención del consentimiento informado de todos los participantes o, en su caso, de sus representantes legales, asegurando así que estén plenamente informados sobre los objetivos, procedimientos y posibles beneficios de la intervención. Este protocolo permite asegurar un proceso ético, transparente y ajustado a las necesidades particulares de la población implicada.

Se llevan a cabo dos tipos de metodología, cuantitativa y cualitativa.

A nivel cuantitativo, es importante entender que en el ámbito de la discapacidad intelectual se cuenta con muy pocas escalas de evaluación validadas y estandarizadas, es por ello, que se realizan numerosas adaptaciones, lo que limita los estudios a una comparación intra-sujeto a través de un pre-test post-test, pero que permite valorar los resultados individuales de cada participante y establecer significatividad estadística en los cambios.

A nivel cualitativo, todas las reuniones mantenidas con los distintos equipos profesionales, de éstos con los participantes, reuniones interdisciplinares con todos los agentes que participaban, de manera directa o indirecta, en el proyecto, nos dio una nueva visión de las distintas realidades. Esto ha supuesto un verdadero enriquecimiento a todos los niveles:

- Ha fomentado la inclusión social de las PCDI, siendo agentes principales de una investigación, estableciendo nuevas relaciones, aportado sus ideas, opiniones, necesidades y deseos, en resumen, han sido tenidos en cuenta y en un ámbito fuera del alcance de la mayoría de la población, como es la tecnología avanzada.
- Se ha conseguido, aun a pequeña escala, generar tecnología verdaderamente inclusiva, porque se ha partido de las necesidades, expectativas y realimentación de los participantes con discapacidad intelectual, probablemente, uno de los sectores de la población en los que encontramos mayor brecha digital.
- Se han realizado labores de sensibilización sobre discapacidad intelectual, no solo con el equipo que ha trabajado directamente en el proyecto, sino a través de la promoción

del mismo, habiendo conseguido que los investigadores, que no pertenecían al sector, pudieran hablar de la discapacidad desde dentro, habiendo compartido el día a día con las personas participantes.

3.2.1 Lecciones aprendidas

Establecer un contacto inicial positivo: la fase de familiarización

Una lección general aprendida es la necesidad de establecer un primer contacto positivo con la tecnología y las experiencias. Esto permite que los usuarios se familiaricen con las nuevas sensaciones y se sientan cómodos. En este contexto, era crucial que los usuarios finales diferenciara entre la tecnología y la tarea, ya que en la terapia conductual esto podría generar una asociación de la tecnología con un estímulo negativo (por ejemplo, escaleras que producen miedo). Esta fase se denomina “fase de familiarización” y se personaliza según las preferencias individuales. Esta lección es aplicable a otras experiencias en las que las personas encuentran una tecnología por primera vez, ya que las prácticas estándar suelen incluir una fase de entrenamiento, pero normalmente enfocada solo en factores técnicos (por ejemplo, volumen del audio).

En las guías de diseño reportadas por *DesignVRforIDD*, ya se señalaba que una fase de desensibilización era un paso importante para ayudar a participantes con desafíos de sensibilidad sensorial. Nuestras observaciones amplían estos resultados: la fase de familiarización no se limita a los desafíos sensoriales. Contribuye a una idea más amplia de comodidad durante las sesiones, centrada en descubrir y adaptarse tanto a la tecnología como a las experiencias.

Cuestionarios adaptados: un primer paso hacia herramientas de evaluación inclusivas

Nuestros cuestionarios adaptados resultaron más inclusivos. El lenguaje y la estructura simplificados permitieron que tanto participantes como profesionales comunicaran su experiencia subjetiva utilizando los mismos instrumentos. A pesar de esta mayor inclusividad, los participantes siguieron necesitando apoyo de la terapeuta para completar los cuestionarios correctamente. Los cuestionarios también generaron resultados limitados. Aunque el tipo de preguntas y la escala Likert de tres niveles pueden contribuir a estos

resultados limitados, problemas similares se observan con frecuencia en estudios con población general. Consideramos, por tanto, estos cuestionarios adaptados como un primer paso hacia herramientas de evaluación inclusivas. Se requiere investigación adicional para examinar este enfoque en mayor profundidad y evaluar su generalización a la población general.

Entrevistas: un método eficaz para captar la experiencia del usuario

En nuestra experiencia, las entrevistas semiestructuradas son el método más eficaz para obtener información significativa sobre la experiencia del usuario. Deben adaptarse para garantizar inclusividad, utilizando lenguaje simple y una estructura clara. Deben ser realizadas por alguien con quien los participantes se sientan cómodos, permitiendo un intercambio más natural. El entrevistador debe apoyar la comprensión de las preguntas y reformularlas cuando sea necesario. En la práctica, las terapeutas que acompañaron a los participantes durante la terapia son los más adecuados para este rol: conocen bien a los usuarios, pueden adaptar la entrevista a cada individuo y tienen una visión completa del proceso, lo que les permite guiar a los participantes al recordar y reflexionar sobre experiencias pasadas.

Las terapeutas deben permitir suficiente tiempo para que los participantes formulen sus propias respuestas, interviniendo solo cuando no puedan responder de manera independiente. Con pequeñas adaptaciones, la misma estructura de entrevista puede aplicarse a las terapeutas para capturar su perspectiva.

Diario de sesiones: una herramienta fundamental para obtener información contextual

A lo largo del proyecto, el diario de sesiones fue altamente valioso. Proporcionó información técnica y no técnica para cada sesión y participante, detallando problemas, logros, experiencias y datos contextuales. Esta información apoyó la adaptación y mejora de las experiencias, ayudó a corregir y contextualizar métricas recopiladas y complementó los datos de las entrevistas.

Recomendamos incluir un diario de sesiones en todos los estudios donde sea posible. Para mejorar la fiabilidad, deben establecerse pautas claras antes del inicio de las sesiones para asegurar un proceso coherente y consistente.

Métricas conductuales y biosensores: resultados limitados, información valiosa

El uso de biosensores y ET es viable, pero debe planificarse con cuidado, priorizando dispositivos simples y no invasivos y asegurando que los procedimientos se mantengan inclusivos y no generen estrés. En el caso del ET, desarrollar un proceso de calibración más accesible reduciría la frustración, aumentaría la disposición de los usuarios a repetir el proceso y mejoraría la calidad de los datos. Los resultados del análisis de estos datos fueron en gran parte inconclusos.

Dado que el proyecto se centró en un enfoque centrado en el usuario con una muestra pequeña, y no en una recopilación de datos a gran escala, el potencial impacto de las métricas conductuales quedó limitado por diseño. Aun así, algunos resultados, aunque débiles, proporcionaron tendencias e indicios que los terapeutas consideraron coherentes con los contextos de terapia cognitiva.

Se requiere investigación adicional que amplíe estos hallazgos y estudie estas métricas con un tamaño de muestra mayor.

Experiencias diseñadas con cuidado y propósito pueden mejorar la calidad de vida

Las entrevistas con participantes y terapeutas, junto con las observaciones de los terapeutas, indican que todos los casos de uso contribuyeron a mejoras en la calidad de vida de los participantes. En la terapia conductual, la telepresencia y las clases de cocina, esto se reflejó en avances claros y medibles en habilidades y competencias, apoyando una mayor independencia en actividades diarias.

En todos los casos de uso, los participantes se involucraron activamente y mostraron motivación constante para participar en las sesiones. En la terapia cognitiva, aunque no se observaron mejoras definitivas en habilidades, los participantes indicaron que la actividad se convirtió en una parte importante de su rutina semanal y demostraron un fuerte interés en continuar.

Las experiencias propuestas, aunque diseñadas con objetivos específicos, se convirtieron en una parte significativa de la vida de los participantes, mejorando su estado de ánimo y sus creencias personales. Estos resultados se ven respaldados por la baja tasa de abandono, lo

que indica que experiencias bien diseñadas y con un propósito claro son percibidas como actividades agradables y no como obligaciones.

Adaptaciones estructurales de las gafas VR:

Las gafas que encontramos actualmente en el mercado para uso genérico de la población no están pensadas para ciertos tipos de fisonomías como las que tienen, por ejemplo, las personas con Síndrome de Down, que presentan rasgos como aplanamiento del puente de la nariz, orejas pequeñas, normalmente de implantación baja, cabeza más pequeña de lo esperable y braquicefalia (parte posterior aplanada). Fue fundamental la adquisición de una nueva sujeción articulada que, finalmente, todos los participantes prefirieron, porque sostenía mejor el peso de la gafa y era más cómoda.

3.2.2 Líneas guía

Entrevistas y cuestionarios

Para recoger información sobre la experiencia subjetiva de las personas participantes, las entrevistas deben ser el método principal. Deben ser realizadas por alguien conocido y con quien las personas participantes se sientan cómodas. Cuando sea posible, esta figura debe ser la persona terapeuta que acompañó las sesiones, ya que puede orientar la entrevista a partir de lo observado. Las entrevistas deben ser semiestructuradas para mantener coherencia sin limitar la posibilidad de que las personas participantes amplíen temas relevantes. Es recomendable realizar varias entrevistas extensas en momentos clave del proceso, como la mitad y el final.

Los cuestionarios adquieren mayor importancia cuando el volumen de participantes hace que el análisis cualitativo sea demasiado laborioso. Si se emplean, deben ajustarse según la estrategia de adaptación utilizada y a las características del grupo. Siempre que sea posible, las opciones de respuesta deben ampliarse a una escala Likert de cinco puntos. Los cuestionarios deben ser breves y limitados a un conjunto reducido de preguntas simples y esenciales que resulten fáciles de comprender.

Generalmente, pueden ser utilizados otros aspectos basados en lectura fácil, como acompañar a los tipos de respuestas imágenes de caras con expresiones que representen cada tipo de respuesta.

Diario de sesiones

La persona responsable del proceso debe mantener un diario estructurado de sesiones. Este debe incluir un resumen de observaciones clave, centrado en las experiencias ocurridas durante la sesión, y permitir registrar tanto observaciones propias como comentarios de las personas participantes. Cuando sea viable, el diario debe incorporar una breve sección de entrevista que complemente o sustituya a los cuestionarios, proporcionando mayor detalle en las respuestas.

La información del diario debe analizarse junto con las entrevistas para identificar temas recurrentes durante las sesiones y al final del proceso.

Métricas de rendimiento y biosensores

Si el objetivo es obtener resultados estadísticamente significativos, las métricas conductuales constituyen un enfoque simple y eficaz cuando el número de participantes es suficiente. Muchas métricas básicas pueden extraerse de los movimientos de cabeza y de las interacciones dentro de los entornos inmersivos. Incluso con un número reducido de participantes, estas métricas pueden resultar útiles para identificar tendencias, siempre que se contextualicen adecuadamente. Con muestras mayores, es posible explorar métricas más detalladas.

Los biosensores requieren una consideración más cuidadosa debido al uso de dispositivos más invasivos y a las dificultades asociadas a la recogida de datos en contextos reales. La ausencia de un valor de referencia controlado complica el análisis, y los sensores no invasivos suelen generar señales de menor calidad. Estudios con un diseño controlado o con un número elevado de participantes pueden beneficiarse de los biosensores para obtener resultados significativos. En otros casos, su uso debe reservarse para enfoques que muestren un potencial especialmente prometedor.

3.3 Consideraciones finales

Como el nombre de este proyecto indica, INCLUVERSO 5G, es un proyecto tecnológico inclusivo. En la búsqueda de la inclusión de las personas con discapacidad, cualquier acción cuenta. En la mayoría de ocasiones personas, familias y profesionales se topan con la frustración de las barreras que aún conviven con el deseo de tener las mismas oportunidades que el resto. No debemos asumir que las mejoras que se han conseguido son suficientes, ni

que existen ámbitos inaccesibles para estas personas, como el de la tecnología avanzada. Pero para conseguirlo, es fundamental que las empresas tecnológicas y universidades que desarrollan prototipos que desean investigar, se acerquen y tengan en cuenta las necesidades de los colectivos más vulnerables, sin recelo, que, en realidad, no es más que el miedo a lo desconocido. Porque *“nada en la vida debe ser temido, sino comprendido. Ahora es el momento de entender más, para que podamos temer menos”*. Marie Curie.

Este grupo conformado por investigadores/as de Nokia y profesionales y usuarios/as de Fundación Juan XXIII, ha demostrado que la colaboración en busca de un mismo objetivo siempre obtiene excelentes resultados.

Uno de los principales fue la tasa extremadamente baja de abandono, especialmente considerando la duración de las experiencias, las tecnologías empleadas y el compromiso positivo mantenido por las personas usuarias en todas las experiencias. Las personas participantes mostraron un interés y una motivación constantes, resultado directamente relacionado con la estrategia de diseño y el enfoque centrado en la persona aplicados en todas las fases. La incorporación de una fase estructurada de familiarización fue esencial ya que permitió una introducción gradual y controlada a la tecnología. Garantizando que los participantes se sintieran cómodos y seguros con la tecnología y las actividades antes del inicio de la intervención.

Es destacable también la motivación y los deseos expresados por los participantes y otros usuarios/as de Fundación Juan XXIII, así como los profesionales, de la necesidad de seguir trabajando en esta línea en el futuro, entendiendo que el uso de esta tecnología debe seguir siendo lo más individualizado posible hasta conseguir crear un producto que englobe la mayoría de las condiciones de las personas, tanto de sus necesidades, opiniones y propuestas, sobre todo de aquellas en situación de vulnerabilidad psicosocial.

Generar esta oportunidad de participación en el día a día de un centro ocupacional, ha permitido que las personas que acuden al mismo no hayan tenido que hacer un sobreesfuerzo para llevarlo a cabo, permitiendo además abrir la conciencia de la necesidad de implantar este tipo de tecnología de apoyo como parte de la atención a este colectivo, no



solo de la Fundación Juan XXIII, sino de otras entidades similares que se han mostrado interesadas en el acceso a este tipo de proyectos.

Y nada de esto hubiera sucedido sin la implicación personal de cada uno de los investigadores que nos acompañaron en este camino, junto con los que se ha generado un lenguaje común y consolidado en la actualidad, que han conocido a cada participante y sus particularidades, que poco a poco se han ido convirtiendo también en profesionales de Fundación Juan XXIII, que para sus usuarios, son personas que, independientemente de su rol profesional, se levantan cada día pensando en hacer un universo más inclusivo.

4 Acrónimos

COFOIL	Centro Ocupacional de Formación, Oportunidades e Inserción Socio Laboral
DI	Discapacidad Intelectual
DoF	Grados de Libertad
HMD	Head Mounted Display
IC	Intervalo de Confianza
ICI	Índice de Control de la Impulsividad
MOS	Mean Opinion Score
MR	Mixed Reality
QoE	Calidad de Experiencia
QoS	Calidad de Servicio
RA	Realidad Aumentada
SBA	Arquitecturas basadas en servicios
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire
SUS	System Usability Scale
TPI	Tecnología Principal Investigada
VPNs	Redes Privadas Virtuales
VR	Virtual Reality
XR	eXtended Reality

5 Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de KPIs para el escenario de teleportación virtual.....	6
Tabla 2: Resumen de KPIs para el escenario de procesamiento delegado de realidad mixta	11
Tabla 3: Resumen de KPIs para el escenario de regulación emocional	15

6 Índice de figuras

Figura 1: Arquitectura de alto nivel del escenario teleportación virtual.....	5
Figura 2: Arquitectura de alto nivel del escenario de procesamiento delegado de Realidad Mixta	10
Figura 3: Arquitectura de alto nivel del escenario de regulación emocional.....	15
Figura 4: Marco teórico del análisis de QoE en Incluverso 5G	33