



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## Resumen del proyecto

Versión 0.14

<b>Autores principales</b>	Jaime Jesús Ruiz Alonso, Alvaro Villegas Núñez, Ignacio Benito Frontelo, Universitat Politècnica de València
<b>Entregado</b>	30/01/2025

Avanzando-5G-Inmersivo-Háptico (TSI-063000-2021-111)

## Versiones y contribuciones

### Contribuyentes

Partner	Autores
NOKIA Spain S.A.	Jaime Jesús Ruiz Alonso
NOKIA Spain S.A.	Alvaro Villegas Nuñez
NOKIA Spain S.A.	David Tenorio González
NOKIA Spain S.A.	Ignacio Benito Frontelo

### Revisores

Revisor	Partner
Raul Lozano	UPV

## Índice de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Descripción</b>	<b>5</b>
2.1. D2.1 - Progreso de las comunicaciones táctiles, año 1	5
2.2. D2.2 - Progreso de las comunicaciones hápticas, año 2	6
2.3. D2.3 - Informe final sobre las comunicaciones hápticas	7
2.4. D3.1 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 1	8
2.5. D3.2 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 2	9
2.6. D3.3 - Informe final sobre el Laboratorio Inmersivo y los ensayos realizados	10
<b>3. Resultados Obtenidos</b>	<b>13</b>
3.1. S2.1 - Desarrollo de aplicaciones táctiles, año 2	13
3.2. S2.2 - Desarrollo final de aplicaciones táctiles	13
3.3. P3.1 - Creación del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles	15
3.4. P3.2 - Actualización del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles	16
3.5. VT3.1 - Piloto de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas	18
3.6. VT3.2 - Piloto final de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas	19
<b>4. Conclusiones del proyecto</b>	<b>21</b>
4.1. Evolución y estandarización de la tecnología háptica	21
4.2. KPIs para asegurar la calidad de aplicaciones hápticas	21
4.3. Evolución de las redes 5G para asegurar calidad de aplicaciones hápticas	22
4.4. Simplificación de la operación y monitorización de servicios hápticos con APIs	23
4.5. Falta de madurez en mercado de nuevos dispositivos hápticos	23

# 1. Introducción

El laboratorio de comunicaciones hápticas tiene como objetivo principal medir interactividad táctil en tiempo real. Para ello, ha desarrollado aplicaciones táctiles inmersivas y de conducción remota, estudiando distintos mecanismos para optimizar la captura y transmisión de dichas aplicaciones.

Las aplicaciones táctiles serán desarrolladas para verticales como educación, Industria 4.0 y logística; e incluirán la conjunción de vídeo con objetos virtuales (interfaces de usuario, entornos simulados, gemelos digitales, etc.) en tiempo real.

Los estudios de optimización realizados sobre estas aplicaciones permitirán definir los casos de uso, KPIs y requisitos de las comunicaciones hápticas, así como identificar sus tecnologías habilitadoras en el contexto de 5G avanzado.

El proyecto coordinado Laboratorio 5G avanzado inmersivo y holográfico (AVANZANDO-5G-INMERSIVO): Advancing 5G for Immersive Holographic, Telepresence and Haptics Communications towards 6G, ha tenido como objetivo principal crear un laboratorio inmersivo de vanguardia que sirva como uno de los principales bancos de pruebas españoles para empresas privadas y entes públicos que deseen validar sus aplicaciones basadas en 5G avanzado y 6G.

Los resultados del proyecto se ha plasmado en el conjunto de los siguientes entregables del proyecto:

ENTREGABLES	PLAZO PARCIAL 1												PLAZO PARCIAL 2													
	2022		2023										2024													
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
D2.1 - Progreso de las comunicaciones táctiles, año 1																										
D3.1 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 1																										
S2.1 - Desarrollo de aplicaciones táctiles, año 2																										
P3.1 - Creación del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles																										
D2.2 - Progreso de las comunicaciones hápticas, año 2																										
D3.2 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 2																										
VT3.1 - Piloto de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas																										
VT3.2 - Piloto final de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas																										
S2.2 - Desarrollo final de aplicaciones táctiles																										
P3.2 - Actualización del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles																										
D2.3 - Informe final sobre las comunicaciones hápticas																										
D3.3 - Informe final sobre el Laboratorio Inmersivo y los ensayos realizados																										

Los entregables con denominación Dxx son documentos, mientras que los Pxx son Prototipos y los entregables VTxx son Pilotos de Validación.

Cada entregable tiene un documento detallado con los contenidos del mismo de acuerdo a los objetivos establecidos en el proyecto.

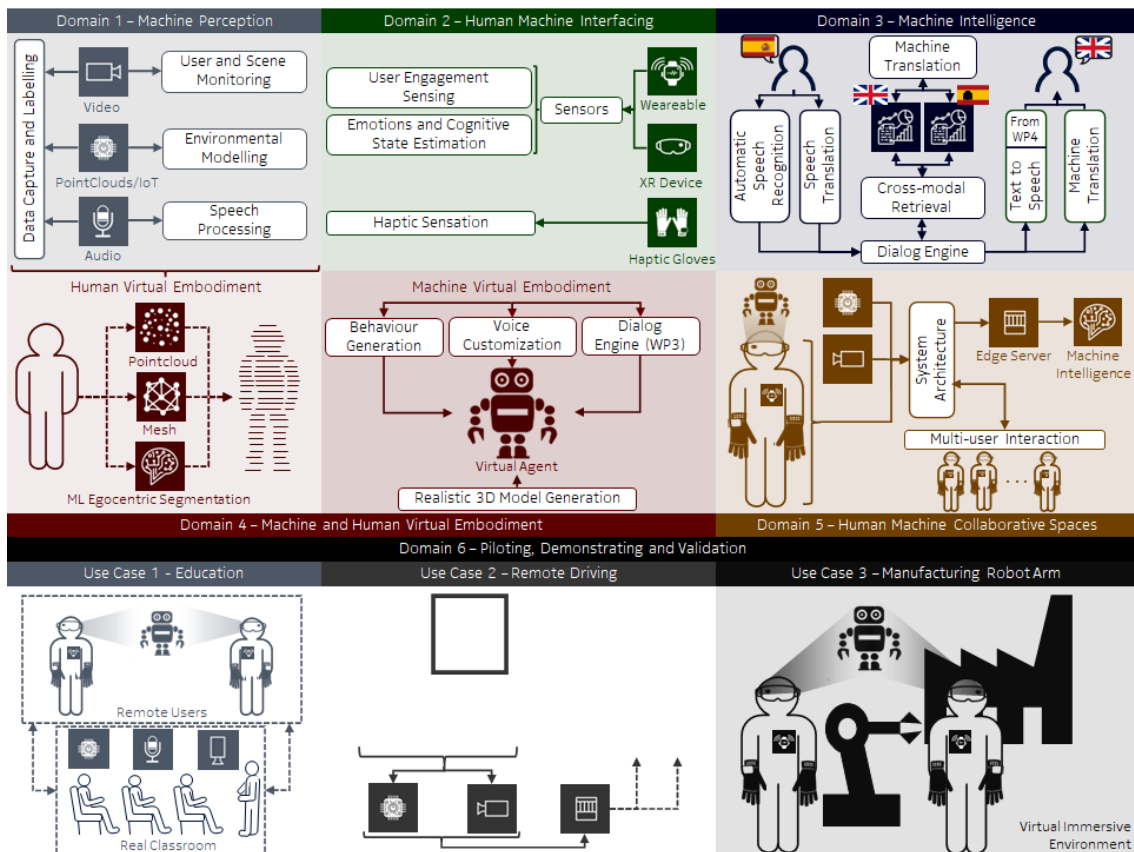
Los entregables se centran principalmente en el diseño y desarrollo de aplicaciones táctiles inmersivas para redes 5G avanzadas y 6G, así como la optimización de la transmisión de dichas aplicaciones. Las soluciones innovadoras de comunicaciones táctiles y realidad virtual contribuyen a las actividades del subproyecto Avanzando-5G-Inmersivo-Háptico (TSI-063000-2021-111), en concreto la actividad AVANZANDO-5G-INMERSIVO-HÁPTICO-A7: COMUNICACIONES 5G AVANZADAS TÁCTILES.

## 2. Descripción

En este capítulo vamos a incluir una breve descripción de los trabajos incluido en los documentos entregables del proyecto. En el siguiente capítulo veremos los resultados obtenidos en el laboratorio y en los pilotos de validación desplegados. Finalmente en el último capítulo incluiremos una descripción de las principales conclusiones del proyecto.

### 2.1.D2.1 - Progreso de las comunicaciones táctiles, año 1

En este documento comienza con un análisis del estado del arte que incluye un análisis de las tecnologías habilitantes y de los requisitos de las aplicaciones táctiles.



El documento describe los Casos de Uso de abordados de “Teleeducación basada en un Multimodal Content Player” y “Conducción remota de un robot móvil”, dejando el caso de uso “Control de un brazo robótico para Industria 4.0” para la siguiente versión del documento.

A continuación se hace un análisis de “Optimización de las comunicaciones hápticas” que incluye Latencias de Red, Optimización de Red, Optimización

de Aplicación y finaliza con un Informe técnico de 3GPP Release-18 de XR y Multimedia.

Finalmente se incluye el plan de trabajo detallando la implementación de los casos de uso y los estudios de optimización.

## 2.2. D2.2 - Progreso de las comunicaciones hápticas, año 2

Después de realizar un análisis del estado del arte en el entregable D2.1 “Progreso de las Comunicaciones Hápticas, Año 1”, que también incluye un primer análisis de los casos de uso de “Teleeducación basada en un Multimodal Content Player” y de “Conducción remota de un robot móvil”, así como un análisis de las optimizaciones de las comunicaciones hápticas.

En un primer capítulo se incluyen las siguientes descripciones:

- Teleeducación basada en un Multimodal Content Player. Aplicación inmersiva interactiva acerca de 5G
  - Objetivo
  - Experiencia
  - Provisionado de contenidos
  - Arquitectura
  - Siguiendo pasos
- Conducción remota de un robot móvil
  - Introducción
  - Proceso de actualización del software
  - Instalación en MEC/PC – Registro
  - Chequeo de instalación de Telegraf
  - Integración con AGV Robotnik desde Jetson Xavier
  - Inserción de KPIs y propagación hacia aplicaciones
  - Interfaz de Unity con AR y características hápticas del volante
- Tiempos de reacción en entorno de simulación de conducción remota o conducción simulada
  - Introducción
  - Proceso de instalación del software
  - Arquitectura y flujos de datos
  - Ejecución del caso de uso
  - Registro y visualización de medidas

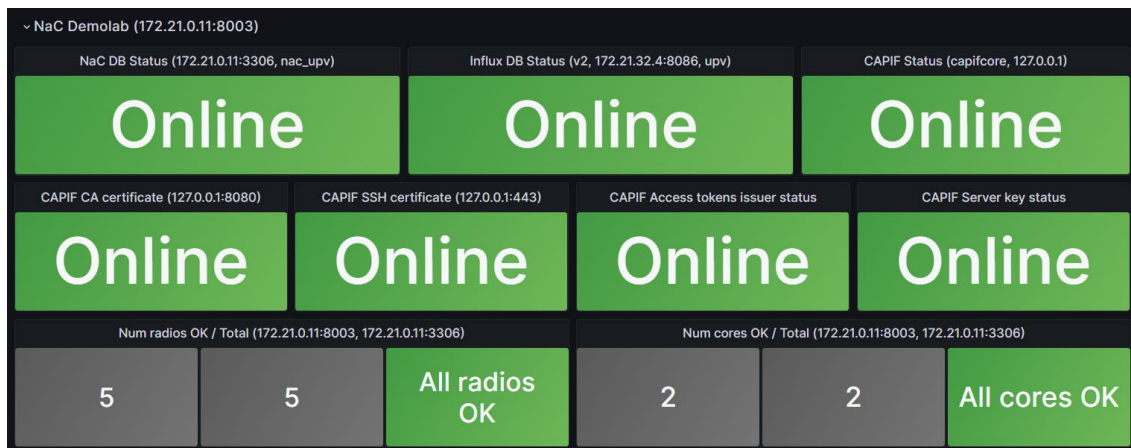
Finalmente se incluye una actualización del plan de trabajo del proyecto.

## 2.3. D2.3 - Informe final sobre las comunicaciones hápticas

El documento contiene una segunda versión de casos de uso y KPIs para las comunicaciones táctiles, basado en una revisión del estado del arte actual, analizando la tecnología 5G existente y tecnologías 5G avanzadas. También incluye un plan de trabajo para optimizar la transmisión de contenidos táctiles en redes 5G avanzadas, especialmente en cuanto a la reducción de la latencia para tener interactividad táctil en tiempo real, que incluye:

- Perfiles non-GBR en SA
- Uso de NaC como plataforma de experimentación
- Slices de Experimentación: Slices en el core, Slices en el router, Slices en la radio ( señalización y configuración de Slices, el scheduler de las Slices )
- KPIs de Experimentación
- Definición de Pruebas de Referencia ( sin restricciones, priorización media, priorización alta, resultado de Pruebas 27/11/2023 y resultado de Pruebas 28/11/2023 )

En la siguiente figura se puede observar una vista de grafana del estado actual del servicio NaC en UPV:



Después de realizar un análisis del estado del arte en el entregable D2.1 “Progreso de las Comunicaciones Hápticas, Año 1”, en este entregable se incluyen los siguientes apartados:

- Análisis de casos de uso implementados, en los que se describe una primera versión de aplicación háptica de teleeducación y una aplicación de conducción remota.

- Optimizaciones de comunicaciones hápticas implementadas con perfiles non-GBR en SA, el uso de NaC y slices, así como la definición de nuevas pruebas de referencia y KPIs de experimentación.
- Finalmente se incluye una actualización del plan de trabajo del proyecto.

## 2.4. D3.1 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 1

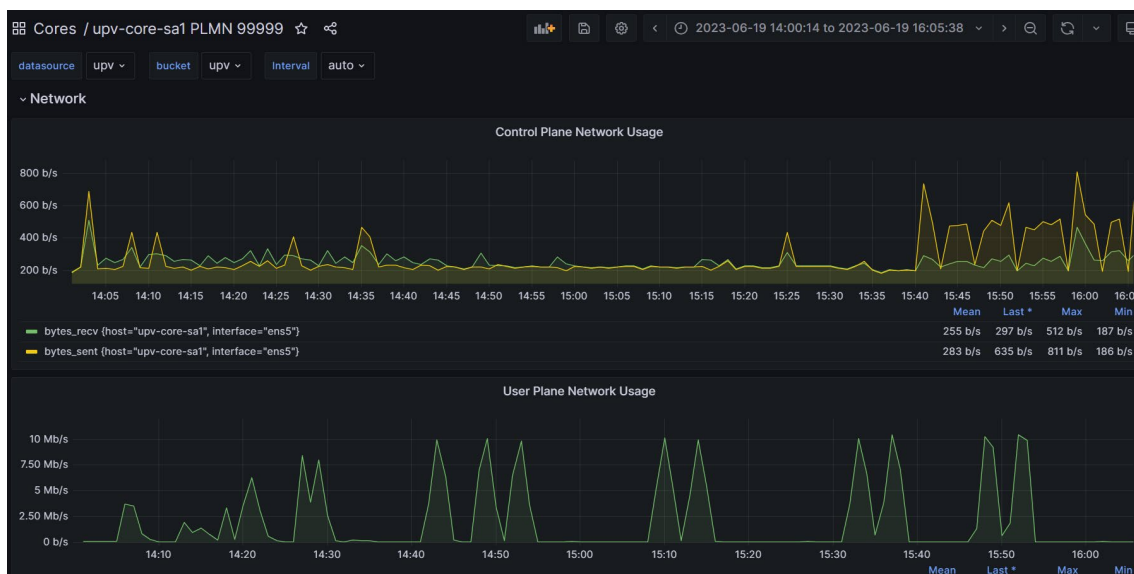
En este entregable se hace una descripción del equipamiento de laboratorio entregado en el proyecto:

- Equipamiento de Conducción Remota
  - Camaras ELP KL170R
  - Jetson Xavier NX Developer Kit
  - Volante y pedales gaming Logitech G29
- Equipamiento de Laboratorio Experimental
  - Servidor baremetal host de VNFs
  - Servidor baremetal host de MEC
  - Router IXR de Conectividad
- Equipamiento de Caja Medidas 5G Remotizada
- Equipamiento Háptico: Guantes, chaleco, pedales, volante, gafas
- IMSIs de Redes Móviles

También se ha incluido una arquitectura e interconexión entre componentes con un diagrama de la arquitectura de radio, la topología de las redes de usuarios y un diagrama de la instalación del Rack.

En el documento se han detallado pruebas de integración y conectividad que incluyen listado de equipos y su ubicación, listado de redes y vlan en el router y pruebas de conectividad.

Ejemplos de tests de uplink en banda n40 en laboratorio:



El siguiente apartado del documento detalla la solución del sistema automatizado y remoto de mediciones de redes 5G avanzadas. También se incluye un plan de evolución del laboratorio.

## 2.5. D3.2 - Progreso del Laboratorio Inmersivo, año 2

El laboratorio de comunicaciones táctiles se encuentra operativo incorporando una segunda versión SW y HW de sus componentes, entre los que se incluyen:

- Servidor baremetal host de VNFs
- Servidor baremetal host de MEC
- Router IXR de Conectividad
- Máquina Virtual Core NSA de mmW + B5
- Máquina Virtual Core SA de n40
- Máquina Virtual KPIs de Telegraf+Influxdb+Grafana
- 2x Caja remotizada para hacer pruebas End to End en n40
- Cockpit remoto operativo
- Kits de cámaras, codificación y comunicaciones para AGV del Cockpit remoto
- Modems de pruebas de NSA mmW
- Modems de pruebas de SA n40
- IMSIs de pruebas

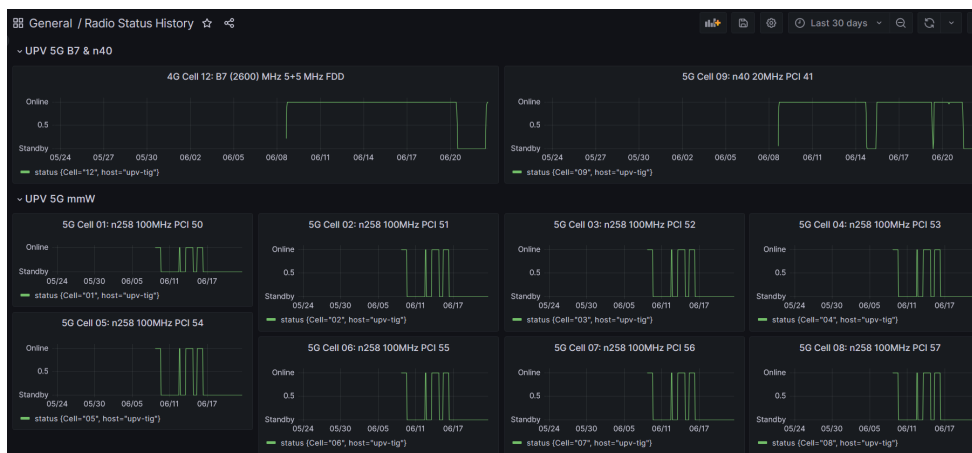
Este laboratorio se ha integrado y probado con los equipos de radio desplegados en el Campus de UPV en dos emplazamientos:

- En el edificio 8G del Campus, site 1, hay cobertura de las bandas de radio: B7 (FDD 5 MHz, foto antena anclada a fachada), n258 (TDD 8x100MHz, foto sobre autoportado antena inferior) y n40 (TDD 20MHz, foto sobre autoportado antena inferior). También en n78 en el interior del edificio 8G del Campus
- En el edificio 6G del Campus, site Nexus, hay cobertura de las bandas de radio: B7 (FDD 5 MHz, foto antena anclada a fachada), n258 (TDD 8x100MHz, foto sobre autoportado antena inferior) y n40 (TDD 20MHz, foto sobre autoportado antena inferior).

También se ha incluido una arquitectura e interconexión entre componentes con un diagrama de la arquitectura de radio y un diagrama de la instalación del Rack.

En el documento se han detallado pruebas de integración y conectividad que incluyen listado de equipos y su ubicación, listado de redes y vlan en el router y pruebas de conectividad n40 y Core SA en Campus.

Ejemplo de monitorización del estado de las portadoras de los nodos de Radio del proyecto a lo largo del tiempo:



El siguiente apartado del documento detalla la solución del sistema automatizado y remoto de mediciones de redes 5G avanzadas. También se incluye un plan de evolución del laboratorio.

## 2.6. D3.3 - Informe final sobre el Laboratorio Inmersivo y los ensayos realizados

En este entregable se ha incluido una descripción final de la arquitectura e interconexión de los componentes que incluye un diagrama de la arquitectura de la radio y un diagrama de la instalación del Rack.

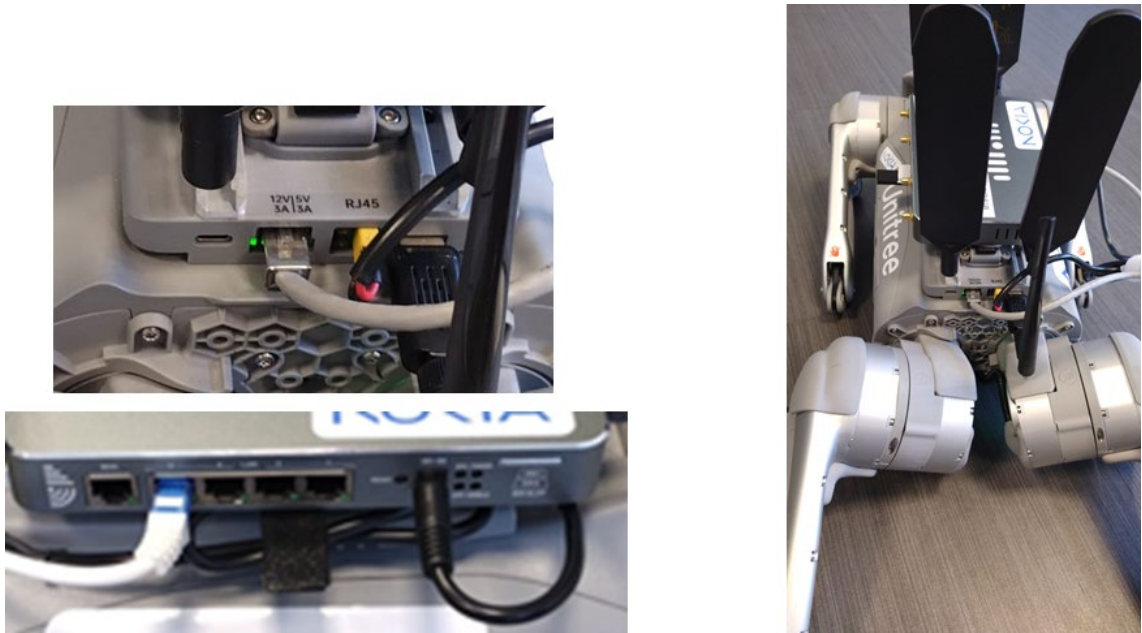
A continuación se detalla el equipamiento proporcionado:

- Equipamiento de Conducción Remota
- Camaras ELP KL170R
- Jetson Xavier NX Developer Kit
- Volante y pedales gaming Logitech G29
- Otros equipos entregados
- Equipamiento de Laboratorio Experimental
- Servidor baremetal host de VNFs
- Servidor baremetal host de MEC
- Router IXR de Conectividad
- Equipamiento de Caja Medidas 5G Remotizada
- Equipamiento Háptico
- IMSIs de Redes Móviles
- Chaleco OWO
- Cronómetro de medidas de milisegundo
- Guante Fuerza TouchDIVER Pro
- Medidores de enregía ORNO OR-WE-256
- Kit para modem 5G de Go2
- Instalación y configuración de 2x ASIB y 4x ABIO

En el siguiente capítulo se detalla el estado Actual del despliegue de Comunicaciones táctiles para el laboratorio Inmersivo:

- Evolución del despliegue de Comunicaciones táctiles del segundo semestre 2023
- Actualización de Radio Site 2 y Radio Site 1 Interior
- Caja de Monitorización remotizada 2
- NaC v1 Support
- Soporte Slices de experimentación
- Entrega de dispositivos hápticos Fase 1
- Evolución de Fase 1 de KPIs

En el laboratorio se ha incluido un kit para montar un modem 5G con alimentación a 12 voltios y conectividad Ethernet a un cuadrúpedo para realizar pruebas en diferentes localizaciones como el que se muestra en la figura::



Finalmente se detallan las siguientes pruebas de Integración y Conectividad:

- Listado de equipos físicos y ubicación
- Listado de Redes y VLAN en Router
- Pruebas de conectividad n40 y Core SA en Campus
- Pruebas de conectividad de las aplicaciones y las infraestructuras de medidas
- Solución del sistema automatizado y remoto de mediciones de redes 5G avanzadas

## 3. Resultados Obtenidos

En este capítulo vamos a describir los resultados obtenidos y los entregables donde se podrá encontrar una información más detallada de estos resultados.

### 3.1.S2.1 - Desarrollo de aplicaciones táctiles, año 2

En este documento, se listarán tanto el software desarrollado para la conducción remota inmersiva, como las dependencias necesarias para ejecutarlo en cada una de las plataformas.

El hardware suministrado será también listado, para poder entender cuál es el contexto en el que cada uno de los componentes software será instalado, integrado y ejecutado.

El Software incluye una descripción detallada de:

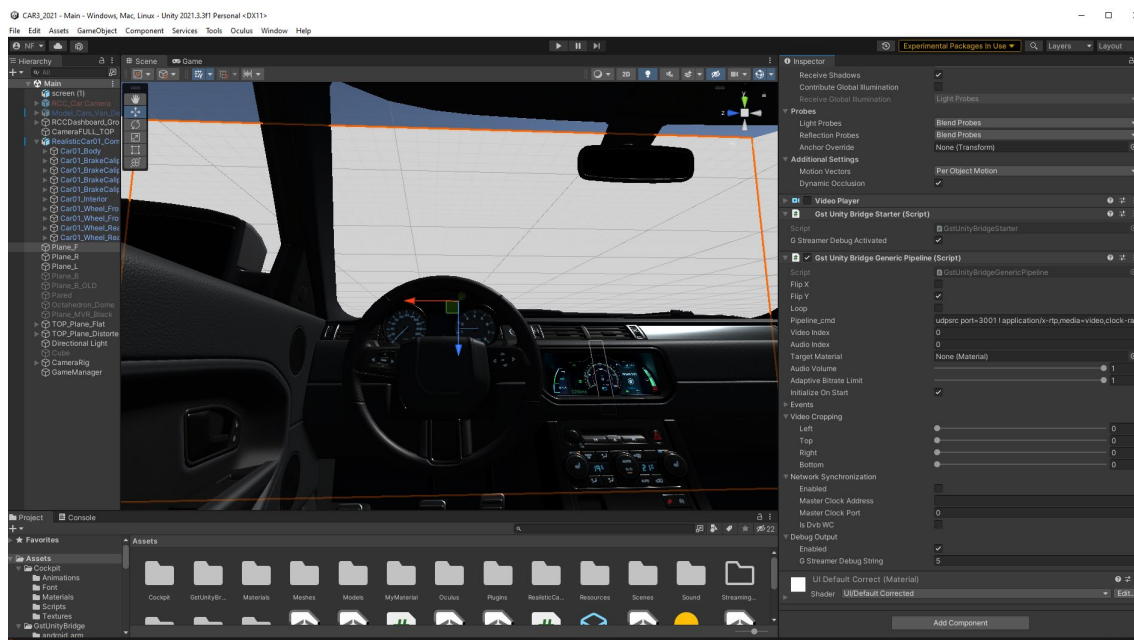
- Preinstalación de software de terceros y librerías
  - Instalación en Jetson Xavier
  - Instalación en PC
- Aplicación de control de conducción remota distribuida
  - Instalación en Jetson Xavier NX
  - Instalación en MEC/PC – Registro
  - Instalación en PC
- Transmisión y recepción de flujos de vídeo
  - Instalación en Jetson Xavier
  - Instalación en PC
- Aplicación de Unity
  - Software de control e interfaz en C#
  - Input System
  - Unity assets and scenes
  - Plugin gstreamer
  - Ejecución desde el entorno de Unity
  - Generación de binario en Windows

### 3.2. S2.2 - Desarrollo final de aplicaciones táctiles

En este documento se describen los desarrollos finales de las aplicaciones táctiles, incluyendo la siguiente información detallada:

- Teleeducación basada en un Multimodal Content Player. Aplicación inmersiva interactiva acerca de 5G
  - Objetivo
  - Experiencia
  - Provisionado de contenidos
  - Arquitectura
  - Sigüientes pasos
- Conducción remota de un robot móvil
  - Introducción
  - Proceso de actualización del software
  - Instalación en MEC/PC – Registro
  - Chequeo de instalación de Telegraf
  - Integración con AGV Robotnik desde Jetson Xavier
  - Inserción de KPIs y propagación hacia aplicaciones
  - Interfaz de Unity con AR y características hápticas del volante
- Tiempos de reacción en entorno de simulación de conducción remota o conducción simulada
  - Introducción
  - Proceso de instalación del software
  - Arquitectura y flujos de datos
  - Ejecución del caso de uso
  - Registro y visualización de medidas

A continuación se presenta la interfaz Unity de Desarrollo de la Aplicación:



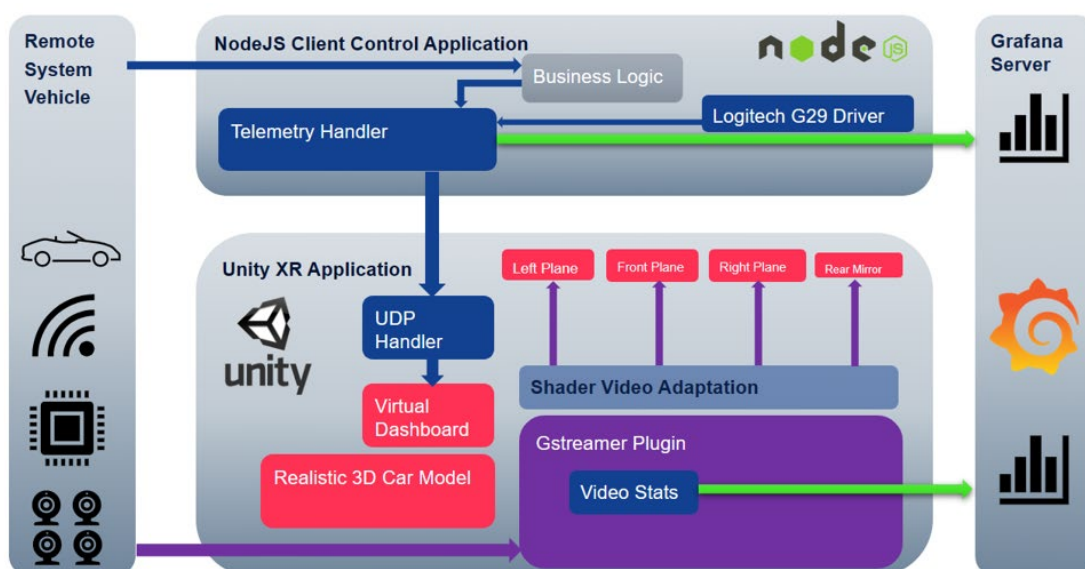
También se detalla el plan de trabajo restante del proyecto con los objetivos, la planificación de los casos de uso y de los estudios de optimización.

### 3.3. P3.1 - Creación del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles

En este prototipo se ha creado una presentación de la funcionalidad soportada con los equipos del laboratorio desplegados, incluyendo la descripción de los siguientes apartados:

- Visualización KPIs: Grafana
- Configuración KPIs sistema: Telegraf
- Configuración KPIs almacenamiento: InfluxDB
- Generación KPIs de aplicación
- Configuración de Cores SA y NSA
- Configuración básica Aircales
- Configuración de IXR conexión Cores-Radio
- Grabación de IMSIs
- Provisión de IMSIs
- NaC para experimentación: CAPIF y NaC
- Configuración de MOCn en Aircscale
- Modems y bandas disponibles
- Cobertura y pruebas

En la siguiente figura se presenta un diagrama de bloques de alto nivel de la aplicación de Remote Driving:



También se ha incluido una descripción de la funcionalidad del piloto soportando la aplicación de “Remote Driving”:

- Arquitectura E2E
- Componentes hardware
- Componentes software
- Variable entorno PC
- Pasos de ejecución
- MEC VM

### 3.4. P3.2 - Actualización del Laboratorio Inmersivo para comunicaciones táctiles

También se ha incluido una descripción de la funcionalidad del piloto soportando la aplicación de “Remote Driving”:

En esta actualización de laborío se pueden destacar:

- Análisis de optimizaciones de Radio
- Optimizaciones de transporte para soportar Slices-VLAN con difernetes 5QIs y su priorización en transporte
- Optimizaciones de virtualización con migración a PROXMOX
- Monitorización de KPIs de calidad de radio, consumo energético y soporte para paneles en gemelos digitales
- Actualización de NAC para slices en transporte y asignación dinámica de 5QIs a usuarios conectados
- Nuevos equipos entregados en laboratorio
- Pruebas de consumo energía de equipos de radio 5G

En esta figura se puede ver el comportamiento del Uplink para un modem en el que la asignación de recursos de Transporte en el slice va decrementándose dinámicamente mediante un llamadas a una función de NaC:



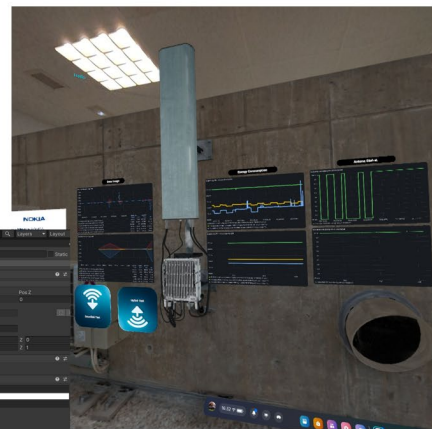
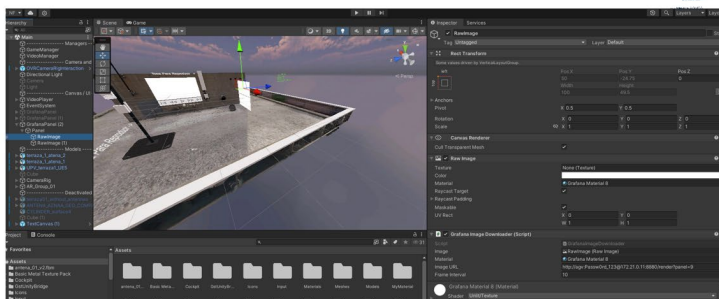
También se ha incluido un training de las siguientes aplicaciones “App2 Teleeducación”:

- Introducción a la aplicación
- Instalación de la app de Unity
- Experiencia
- Formatos de vídeo soportados
- Ficheros entregados
- Renderizado de paneles en grafana

En la siguiente figura presentamos un ejemplo del renderizado de los paneles de KPIs del proyecto en la aplicación de Teleeducación:

## Renderizado de paneles en grafana

- Los paneles de grafanas son instantáneas de la imagen del panel obtenidas periódicamente.
- Cada panel se configura separadamente debajo de su objeto Canva
- Se puede configurar el tiempo de refresco en unidades de frames de Unity



“Training App1 Reacción del Piloto”:

- Introducción . Explicación de la aplicación
- Puesta en marcha
- Arquitectura y flujos de datos
- Ejecución del caso de uso
- Forma de medir tiempo de respuesta
- Comunicación con influxdb via NaC para almacenar medidas

“Actualización de Laboratorio de Comunicaciones Hápticas”, detallando diversas optimizaciones del laboratorio.

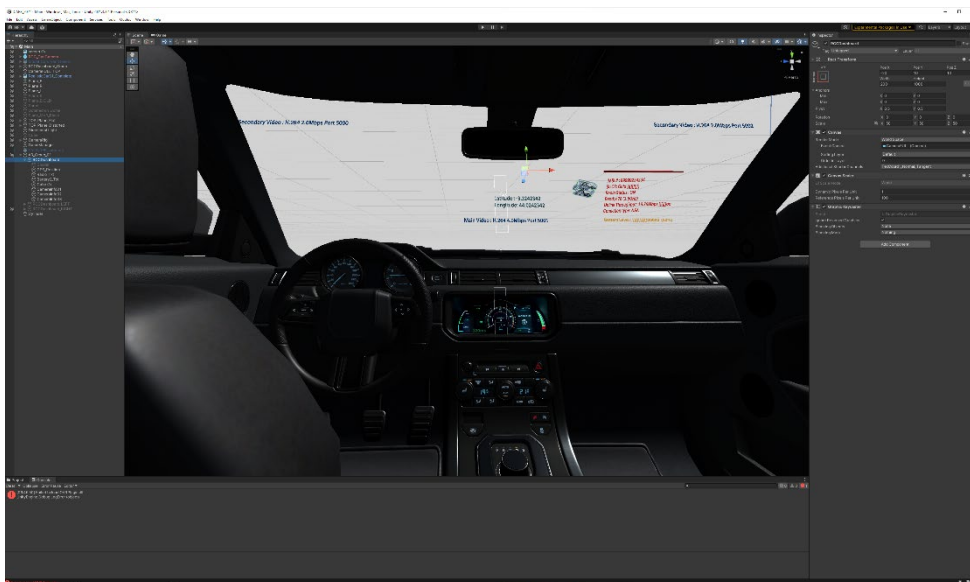
### 3.5. VT3.1 - Piloto de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas

En esta primera versión del piloto se incluye

Aplicación de Remote Driving:

- Arquitectura E2E
- Componentes hardware
- Componentes software
- Variable entorno PC
- Pasos de ejecución
- MEC VM

Ejemplo de capa de estadísticas en la aplicación inmersiva de la conducción remota:



Aplicación de Fisioterapia inmersiva:

- Install APK (hapticplayer.apk) on Oculus Quest
- Download hapticplayer.ini on Oculus Quest persistent data path
- Connect Bhaptics Vest to Oculus Quest
- Start server and controller
- Run the app on Oculus Quest

En la siguiente figura se puede ver el vídeo inmersivo de la experiencia de la aplicación de fisioterapia inmersiva:



Network as code:

- Dashboard de grafana de NaC
- Configuración de infraestructura NaC
- Configuración de KPIs de monitorización
- Información de infraestructura en NaC
- APIs de experimentación: Autorización de IMSIs y de Slices
- APIs de experimentación: Asignación de IMSIs a Slices
- APIs de experimentación: Estado de la radio y Slice
- APIs de experimentación: Envío de KPIs
- APIs de experimentación: Consulta de KPIs

Y finalmente sobre pruebas de tiempos de reacción:

- Definición del objetivo del experimento
- Definición de las 6 pruebas
- Propuesta de formulario de usuario del experimento

### 3.6. VT3.2 - Piloto final de comunicaciones inmersivas táctiles en redes 5G avanzadas

En este segundo piloto de validación se han incluido detalles de validación de los siguientes apartados:

- UC Docencia Inmersiva – Teleeducación
- UC Control Remoto
- UC Control remoto de brazos robóticos
- Configuración 30 MHz en n40 para control remoto
- Sistema de monitorización de gasto de energía para docencia inmersiva

- Sistema de gestión de vídeo de Cuadrúpedo Go2
- Vídeos de Teleeducación Inmersiva
- Soporte Radio de Altas capacidades para aplicaciones en tiempo real

También se ha incluido documentación de training con los siguientes contenidos:

- Anexo I: Training Medidas Energía
- Anexo II: Training Go2 Video
- Anexo III: Equipamiento de Laboratorio
- Anexo IV: Training NaC
- Anexo V: Training Radio 5G
- Anexo VI: Training Videos Teleeducación
- Anexo VII: Training Caso de Uso Teleeducación
- Anexo VIII: Caso de Uso Remote Driving & Reaction Times
- Anexo IX: Caso de Uso de Robotic Arm

## 4. Conclusiones del proyecto

A continuación vamos a listar algunas de las principales conclusiones del proyecto.

### 4.1. Evolución y estandarización de la tecnología háptica

Se ha producido una evolución relevante en la tecnología háptica que ha creado nuevas expectativas de mercado, iniciando el proceso de estandarización tecnológica que hemos podido ver evolucionar a lo largo de la duración del proyecto en el estándar “IEEE 1918.1.1-2024 IEEE Standard for Haptic Codecs for the Tactile Internet”.

Este estándar comenzó con un primer borrador en Marzo de 2023 para finalmente ser aprobado en Junio de 2024.

Para la interacción háptica a través de una red de comunicación, normalmente se deben intercambiar dos tipos de información, a saber, información cinestésica y táctil. Este estándar define códecs hápticos para Internet táctil (TI), que abordan escenarios de aplicación de TI donde el ser humano está involucrado (es decir, teleoperación o aplicaciones táctiles remotas), así como escenarios que dependen del control remoto de la máquina. Más específicamente, el estándar define algoritmos y esquemas de reducción de datos (perceptuales) tanto para comunicaciones de circuito cerrado (intercambio de información cinestésica) como de circuito abierto (intercambio de información táctil).

Este nuevo estándar también proporciona información adicional para la implementación y evaluación de códecs, como las configuraciones de software y hardware de referencia para códecs kinestésicos y táctiles, y los resultados de la validación cruzada. Contenido adicional de código abierto disponible aquí: <https://opensource.ieee.org/haptic-codecs/kinesthetic/-/releases/0.1.0>

### 4.2. KPIs para asegurar la calidad de aplicaciones hápticas

Las aplicaciones hápticas requieren garantizar unas prestaciones para poder asegurar la validez de su operación, esta garantía sólo podrá asegurarse si se mide su rendimiento con nuevos KPIs que pueden asegurar su operatividad.

La latencia en cada sentido de las comunicaciones, la latencia round-trip, el ancho de banda en cada sentido, son parámetros de red que deben permitir un flujo de comunicaciones las aplicaciones hápticas de una calidad suficiente que permitan garantizar su aplicación dentro de unos márgenes suficientes de calidad.

Estas medidas de KPIs han de ser almacenadas y monitorizadas a lo largo del tiempo para poder verificar que la calidad de las aplicaciones es suficiente y también para poder mejorar la configuración de la red para aumentar la calidad.

### 4.3. Evolución de las redes 5G para asegurar calidad de aplicaciones hápticas

Las redes de comunicaciones 5G están avanzando simultáneamente en cuatro ámbitos diferentes que permiten garantizar la calidad de las aplicaciones: radio, transporte, virtualización y orquestación.

- **En términos de radio** hay varias herramientas que permiten proporcionar un mayor control de la calidad entre los que podemos destacar el uso de radio slicing, la priorización del tráfico usando diferentes 5QIs o el uso simultáneo de varios DNNs que permitan proporcionar diferentes calidades simultáneas.
- **El transporte** proporcionado por los routers que permiten la separación de flujos de tráfico usando etiquetado de paquetes ( e.g. VLANs ), la priorización de tráfico, la gestión inteligente de colas de paquetes, la asignación de diferentes niveles de recursos de red a diferentes conexiones, y finalmente la próxima implementación de protocolos como el L4S van a permitir proporcionar un nuevo nivel de garantía de calidad.
- **La virtualización** de las redes 5G permite la asignación de un número variable de recursos a las aplicaciones muy flexible, y facilita la reconfiguración de las redes en unos tiempo mínimos. También el tiempo de despliegue de nuevas aplicaciones ha sido reducido al mínimo. El uso de software para la interacción con el transporte mediante técnicas de SDN está siendo crítico en las nuevas redes.
- **La orquestación** de las nuevas redes de comunicaciones soportada por la automatización de tareas y la interacción con la radio, el transporte y

la virtualización de los diferentes elementos que componen una red móvil permite facilitar enormemente el despliegue y personalización de nuevas aplicaciones.

#### **4.4. Simplificación de la operación y monitorización de servicios hápticos con APIs**

Uno de los grandes retos del despliegue de nuevos servicios y aplicaciones es el uso de mano de obra muy especializada que requiere un entrenamiento muy específico y difícil de adquirir. Es por esa razón por la que para facilitar el trabajo de los integradores y de los desarrolladores de software de aplicaciones que hagan uso de las comunicaciones móviles se han definido nuevas APIs de acceso a la plataforma para simplificar la operación y monitorización de estas aplicaciones.

La plataforma Network as Code de Nokia reúne redes de todo el mundo, junto con integradores de sistemas y desarrolladores de software, en un ecosistema unificado. Se inspira en iniciativas de la industria como GSMA Open Gateway y el proyecto CAMARA de Linux Foundation.

Network as Code está diseñada como un paradigma de ecosistema de dos caras confiable. Esta plataforma tiene como objetivo simplificar las complejidades de la red abstrayéndolas y exponiendo interfaces fáciles de usar para los desarrolladores. Estas interfaces les permiten implementar aplicaciones en múltiples redes públicas y privadas.

Network as Code está pensada para desarrolladores, y les ofrece una experiencia simplificada sin la carga de tener que navegar por las complejas tecnologías de red subyacentes. Una plataforma que ofrece a los desarrolladores un recorrido sencillo para aprender sobre las capacidades que se les presentan a través de interfaces programables y les proporciona herramientas como artefactos de código y entornos de prueba para que puedan incorporar capacidades digital a sus aplicaciones rápidamente.

#### **4.5. Falta de madurez en mercado de nuevos dispositivos hápticos**

El mercado de los dispositivos hápticos están comenzando a madurar, pero aún es un mercado muy poco extendido y en el que la mayoría de los dispositivos son muy específicos de aplicaciones cerradas.

Los guantes hápticos con respuesta de fuerza son extremadamente caros y muy difíciles de operar y de integrar. Los guantes sin respuesta de fuerza son menos caros pero al no disponer de tecnología estandarizada es muy difícil de caracterizar su validez y efectividad para las diferentes aplicaciones de referencia.

Por otro lado el impacto en las personas y en sus tiempos de respuesta no es fácil de caracterizar, y no hay una base amplia de medidas para realizar comparaciones objetivas de diferentes dispositivos. El trabajo de medir tiempos de respuesta humanos, o de medir la calidad de la operación remota de diferentes ejercicios es laborioso y consume muchos recursos y tiempo.