



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ADV5G-TWINS-VISUALIZATION

## Resumen del proyecto

Versión 0.4

CAPTURA Y VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES EN TIEMPO REAL

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

Avanzando-5G-Gemelos Digitales-Industria (TSI-063000-2021-113)

Avanzando-5G-Gemelos Digitales-Puertos (TSI-063000-2021-114)

## Índice de contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. A5: CAPTURA Y COMUNICACIÓN DE GEMELOS DIGITALES</b>	<b>3</b>
2.1. Descripción	3
2.1.1. D2.1 D2.2 - Definición y Evolución de casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para puertos	3
2.1.2. D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para puertos	4
2.1.3. D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos	4
2.1.4. D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos	5
2.1.5. D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios	5
2.1.6. D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos portuarios	6
2.1.7. D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias	6
2.2. Resultados obtenidos	7
2.2.1. S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales	7
2.2.2. P3.1 - Prototipo de gemelo digital con inteligencia artificial basada en reconocimiento de imágenes	8
2.2.3. P3.2 - Prototipo de gemelo digital con inteligencia artificial basada en radares	9
2.2.4. P4.1 - Creación del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos	9
2.2.5. P4.2 - Laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos	9
2.2.6. VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios	10
<b>3. A6: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA PUERTOS</b>	<b>13</b>
3.1. Descripción	14
3.1.1. D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para puertos	14

3.1.2.	D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos <sup>15</sup>	
3.1.3.	D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos	16
3.1.4.	D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios	18
3.1.5.	D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos portuarios	18
3.1.6.	D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias	19
3.2.	Resultados obtenidos	20
3.2.1.	S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales	20
3.2.2.	P3.3 - Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital	21
3.2.3.	P4.1 - Creación del laboratorio y piloto de gemelos digitales en tiempo real para puertos	23
3.2.4.	P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos	25
3.2.5.	VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios	26
<b>4.</b>	<b>A11: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA INDUSTRIA 4.0</b>	<b>28</b>
4.1.	Descripción	28
4.1.1.	D2.1 - Definición de casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	28
4.1.2.	D2.2 - Evolución de los casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	29
4.1.3.	D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	30
4.1.4.	D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	31
4.1.5.	D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	32
4.1.6.	D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales	34
4.1.7.	D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos industriales	34

4.1.8.	D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas industriales	34
4.2.	Resultados obtenidos	38
4.2.1.	S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales	38
4.2.2.	P3.3 -Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital	38
4.2.3.	P4.1 - Creación del laboratorio y piloto de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	41
4.2.4.	P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0	42
4.2.5.	VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales	43
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>46</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto coordinado Avanzando-5G-Gemelos-Digitales: Aplicaciones de gemelo digital en tiempo real empleando las tecnologías de 5G avanzado y 6G para entornos industriales y de logística, tiene como objetivo principal crear un laboratorio de aplicaciones 5G avanzadas y 6G para gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales y logísticos.

Los gemelos digitales son representaciones virtuales de un entorno físico. Los gemelos digitales habilitarán la digitalización completa del entorno aprovechando los datos recopilados por sensores, máquinas, robots y cámaras. No obstante, exigen una gran cantidad de datos intercambiados, mecanismos de recopilación, virtualización, análisis y representación, así como una alta capacidad computacional tanto en el borde como en la nube, especialmente para cubrir las demandas de procesamiento en tiempo real. Con este fin, las futuras aplicaciones de gemelos digitales deberán basarse en la adopción de tecnologías 5G avanzadas y 6G.

El proyecto se compone de dos subproyectos y tres subactividades:

- Subproyecto Avanzando-5G-Gemelos Digitales para Puertos (TSI-063000-2021-114)
  - Actividad A5: CAPTURA Y COMUNICACIÓN DE GEMELOS DIGITALES
  - Actividad A6: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA PUERTOS
- Subproyecto Avanzando-5G-Gemelos Digitales para la Industria 4.0 (TSI-063000-2021-113)
  - Actividad A11: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA INDUSTRIA 4.0

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

ACTIVIDAD	ENTREGABLES
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-PUERTO-A5	P4.2 - Laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-PUERTO-A5	VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-PUERTO-A5	D2.2 - Evolución de los casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para puertos
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-PUERTO-A5	D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-PUERTO-A5	D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-PUERTO-A6	P3.3 - Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-PUERTO-A6	P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-PUERTO-A6	VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-PUERTO-A6	D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-PUERTO-A6	D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D2.1 - Definición de casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	P4.1 - Creación del laboratorio y piloto de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos industriales
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	P3.3 -Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D2.2 - Evolución de los casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0
AVANZANDO-5G-GEMELOS-DIGITALES-DIGITALES-INDUSTRIA-A11	D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas industriales

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.

## 2. A5: CAPTURA Y COMUNICACIÓN DE GEMELOS DIGITALES

### 2.1.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.

#### 2.1.1. D2.1 D2.2 - Definición y Evolución de casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para puertos

El caso de Uso finalmente definido es el de diseñar y crear una aplicación que soporte un modelo virtual estático de un escenario industrial y de unos avatares de objetos móviles que pueda usar un operador de infraestructuras industriales para monitorizar el estado actual de la infraestructura real a través de internet.

Para ello en el caso de uso será un operador que podrá utilizar una aplicación inmersiva y podrá:

- Utilizar un ordenador donde se ejecutará el modelo VR y que tendrá acceso a Internet de banda ancha
- El modelo VR representará fehacientemente el entorno industrial, que deberá generarse en base a fotogrametría avanzada
- Utilizar unas gafas de VR conectadas al ordenador para visualizar el modelo.
- Utilizar un mando de control que le permitirán moverse dentro del entorno virtual
- Ver en cómo se mueven dentro del entorno virtual objetos reales del entorno físico como pueden ser “Automated Guided Vehicles” o “Remotly Controlled Vehicles”
- Ver cómo se comporta la red de comunicaciones 5G del entorno industrial en diferentes aspectos de rendimiendo
- Ver cómo se compartan los sensores de energía desplegados en la red de comunicaciones 5G

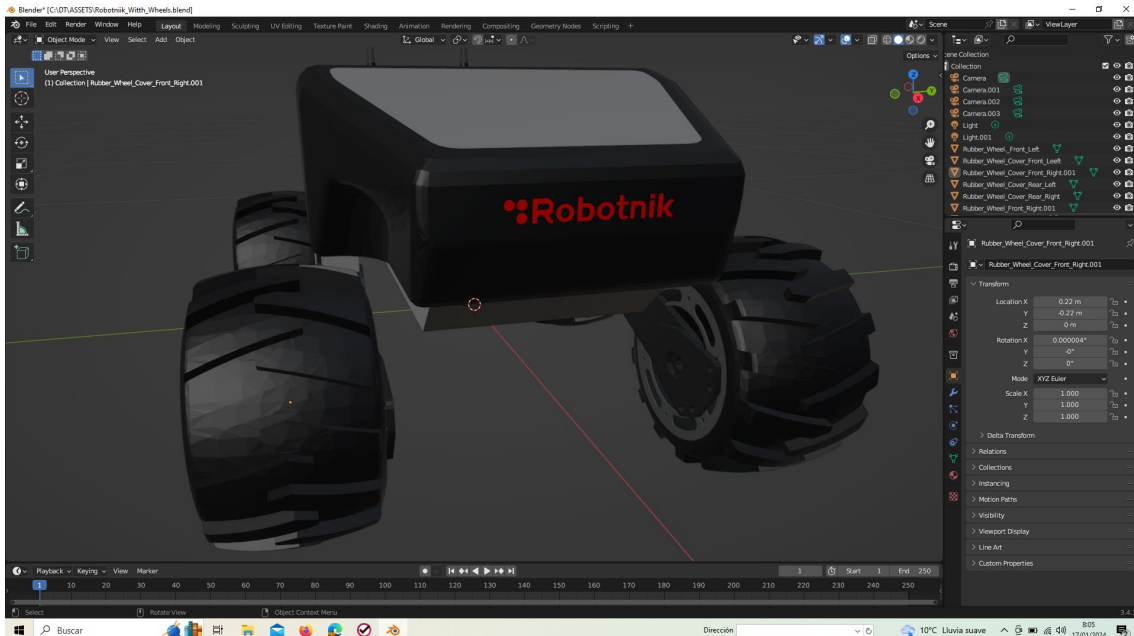
En el entregable también se han identificado los requisitos de interfaces, BBDD, entorno de desarrollo, entorno de ejecución y del modelado 3D.

Finalmente se ha realizado un análisis de los KPIs de captura y comunicación de gemelos digitales y de su estado del arte, se han considerado Unity, Unreal y NVIDIA como modelos de gemelos digitales, y se ha realizado un análisis de las técnicas de transmisión de gemelos digitales en tiempo real usando redes 5G.

## 2.1.2. D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para puertos

En este documento se identifican las fases del diseño de un gemelo digital, comenzando por la fotogrametría, a la que sigue la fase de generación de la malla. A continuación se inicia el visionado y configuración del modelo 3D, ajustando los parámetros para su correcta visualización en aplicaciones de PC o bien aplicaciones de visores inmersivos. Finalmente en la última fase se incorpora toda la interactividad del modelo con la realidad, que incluye la importación de modelos 3D de objetos adicionales y la configuración de los pluggins de animación y toma de medidas.

En los gemelos diseñados se ha usado “Reallity Capture” como software de referencia para crear el modelo en 3D, generado a partir de fotos y datos 3D obtenido de diferentes fuentes.



También se ha incluido en el entregable una descripción de cómo se pueden incorporar objetos al gemelo digital importándolos con blender.

## 2.1.3. D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Este documento describe detalladamente cómo generar un modelo 3D realista creado a partir de capturas reales del entorno tomadas con imágenes fotogramétricas o bien tomadas con escaneo LASER, cubriendo detalladamente cómo se pueden realizar todos los pasos en el programa “Reallity Capture” que se ha utilizado en el proyecto.

Para crear un modelo 3D a partir de escaneos láser hay que seguir los siguientes pasos:

- Importación de escaneos láser

- Compatibilidad con la importación directa de formatos .ZFS y .ZFPRJ
- Registro de escaneos láser
- Próximos pasos
- Establecer plano de tierra
- Región de reconstrucción
- Calcular un modelo
- Su reconstrucción
- Estadísticas del modelo
- Estadísticas de componentes
- Colorear modelos ( Modelo coloreado y Modelo texturizado )

Para crear un modelo 3D a partir de imágenes hay que seguir los siguientes pasos:

- Agregar imágenes
- Mis imágenes ( Navegación, Vista de escena 1D/2D, Vista de imagen 2D)
- Ordenar imágenes
- Alinear imágenes ( Imágenes y cámaras, Componente de escena, Antes de continuar )
- Establecer plano de tierra
- Región de reconstrucción
- Calcular un modelo
- Su reconstrucción
- Estadísticas del modelo
- Estadísticas de componentes
- Colorear modelos ( Modelo coloreado, Modelo texturizado )

### **2.1.4. D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos**

En este documento se han actualizado los procedimientos descritos en el entregable D3.2 y también se ha incluido el detalle para crear modelos 3D a partir de imágenes de Google Earth.

.

### **2.1.5. D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios**

En este entregable se ha definido una primera planificación de despliegue de laboratorio y de desarrollo de los pilotos digitales. También se ha incluido un listado de los equipos inicialmente desplegados, y finalmente se generado un primer plan de pruebas de validación del piloto.

## 2.1.6. D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos portuarios

Este documento presenta la parte relativa a la instalación y puesta en marcha del entorno de ejecución en tiempo real del gemelo digital incluyendo toda la instalación de las herramientas de desarrollo requeridas, así como el provisionado requerido de las mismas.

Este documento incluye detalles de los procesos de instalación de Unity , Python, nodeJS. La gestión de la integración con los datos de posicionado, así como la adquisición de los datos de sensores, los avatares y su representación. Se han detallado entre otros los siguientes pasos:

- Ejecución del gemelo digital en Unity
- Chequeos previos a la ejecución del gemelo digital ( Servidor de NaC ejecutándose, Conectividad al Gateway de NaC, Conectividad con el AGV, Conectividad con los sensores )
- Ejecución desde entorno Unity ( Ejecución y niveles de traceo, Conexión y ejecución con Oculus Link, Movimiento en el entorno virtual utilizando los mandos de Quest 2, Renderizado de paneles de Grafana en el gemelo – Configuración)
- Conexión y ejecución con Oculus Link
- Requisitos de la Aplicación de Oculus
- Ejecución standalone (Android)

## 2.1.7. D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias

Este documento incluye un plan de trabajo actualizado y un plan de pruebas finales de validación.

También se detallan los equipos entregados para soportar esta actividad:

Equipamiento descripción o similar	Entregados	Comentario
Modelo fotorealista - licencias de Reality Capture	1	Licencia Perpetua
Licencia Unity para desarrollador de aplicaciones	1	Licencia Annual
Estación diseño y edición del gemelo digital con GPUs nVidia ( también para visualización del gemelo )	1	Una estación completa de edición con el SW de desarrollo operativo
Quadrupedo Unitree con LIDAR 2D	1	Unitree conectado 5G
Kits de cámaras con nVidia codificación vídeo y captura	5	Entregadas
Avatares y fotogrametría	3	Se entregan tres modelos
Ocho Modems Avanzados - en dos entregas	0	Acordado el cambio para incorporar KPIs de consumo eléctrico
Dos cockpits de Integración de conducción remota	1	Se entrega uno y el sistema de KPIs electricos
Sistema de medidas de consumo Energético	1	Sistema remotizado con varios medidores eléctricos operativos

## 2.2. Resultados obtenidos

### 2.2.1. S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales

En esta entrega se incluyen las imágenes de las capturas fotogramétricas, así como los archivos intermedios de objetos.

También se incluyen las escenas estáticas 3D con texturas adquiridas y sintéticas para su posterior uso como entrada de las aplicaciones de VR en Unity.

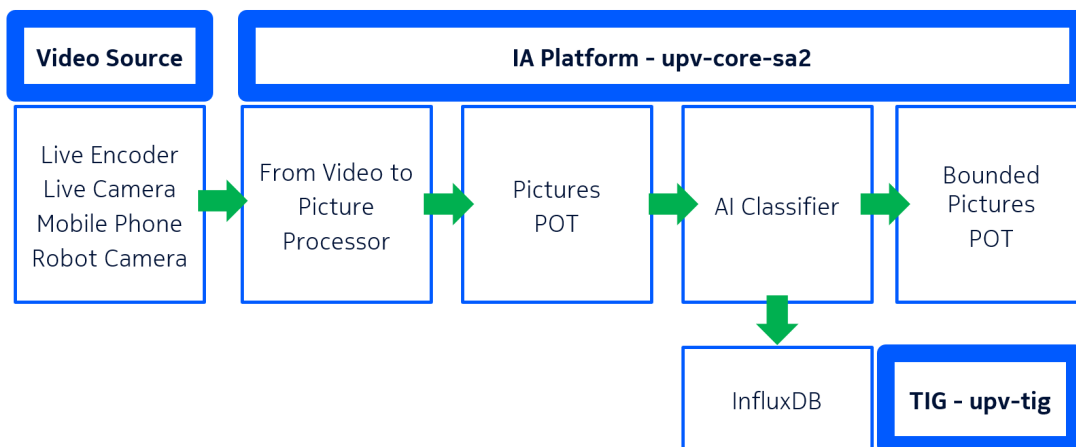
Los ficheros entregados se refieren a 4 posibles escenas. La escena del velódromo tiene como objetivo ser entrada de las actividades de la tarea A6, mientras que el resto de directorios se refieren a escenas que serán utilizadas en la tarea A7.

Folder/File	Percentage	Size	Count	Count	Count	Date	Time
UPV_TERRAZA1	73.3%	10.4 GB	390	387	3	03/03/2024	11:34:57
JPG	84.8%	8.8 GB	362	362	0	03/03/2024	11:34:57
<Files>	13.5%	1.4 GB	10	10	0	16/02/2024	0:13:39
TERRAZA1_LASER.obj	26.8%	385.9 MB				02/01/2024	0:10:53
antena_01.blend	15.4%	222.4 MB				31/01/2024	16:34:38
antena_01.blend1	13.5%	194.0 MB				31/01/2024	16:34:38
terrazza_02.blend	11.8%	169.9 MB				16/02/2024	0:13:39
terrazza_02.blend1	11.8%	169.9 MB				16/02/2024	0:13:32
terrazza01.blend1	8.3%	119.9 MB				09/02/2024	9:58:40
terrazza01.blend	8.3%	119.9 MB				09/02/2024	9:58:46
TERRAZA1_LASER_u0_v0_diffuse.png	4.1%	59.1 MB				02/01/2024	0:10:58
TERRAZA1_LASER.obj.rinfo	0.0%	1.9 KB				02/01/2024	0:11:03
TERRAZA1_LASER.mtl	0.0%	200 Bytes				02/01/2024	0:11:11
TERRAZA_1_GEOMETRIA_V1	1.8%	189.4 MB	16	15	1	03/03/2024	11:34:23
<Files>	87.3%	165.4 MB	3	3	0	22/02/2024	12:41:09
terrazza01_geo_mats.blend	92.8%	153.5 MB				22/02/2024	12:41:09
ANTENA_AZNAVA_GEO_COMPLETA_V1.fbx	5.3%	8.7 MB				21/02/2024	10:29:57
ANTENA_AHHA_GEO_COMPLETA_v1.fbx	1.9%	3.1 MB				21/02/2024	10:30:15
Pegatinas_blender	12.7%	24.0 MB	12	12	0	03/03/2024	11:34:18
UPV_TERRAZA2	18.0%	2.6 GB	93	92	1	03/03/2024	12:01:28
jpg	79.2%	2.0 GB	89	89	0	03/03/2024	12:01:27
<Files>	20.8%	545.9 MB	3	3	0	22/02/2024	15:07:10
UPV_terrazza2_materiales.blend	35.4%	193.3 MB				22/02/2024	15:07:10
UPV_terrazza2.blend	32.3%	176.3 MB				16/02/2024	0:41:18
UPV_terrazza2.blend1	32.3%	176.3 MB				16/02/2024	0:41:12
UPV_VELODROMO	6.1%	888.6 MB	2	2	0	03/03/2024	11:56:01
UPV_VELODROMO.blend	50.0%	444.3 MB				11/02/2024	19:41:56
UPV_VELODROMO.blend1	50.0%	444.3 MB				11/02/2024	19:42:09
UPV_RACK	2.6%	381.3 MB	53	53	0	03/03/2024	11:22:10
upv_rack.blend	10.0%	38.3 MB				16/02/2024	1:20:48
upv_rack.blend1	10.0%	38.3 MB				16/02/2024	1:20:48
5DSR_UPV_RACK (5).jpg	4.0%	15.4 MB				07/12/2023	15:06:23
5DSR_UPV_RACK (27).jpg	4.0%	15.2 MB				07/12/2023	15:03:40
5DSR_UPV_RACK (6).jpg	4.0%	15.2 MB				07/12/2023	15:06:21
5DSR_UPV_RACK (8).jpg	3.9%	14.9 MB				07/12/2023	15:08:02

## 2.2.2. P3.1 - Prototipo de gemelo digital con inteligencia artificial basada en reconocimiento de imágenes

Este prototipo de gemelo digital basado en reconocimiento de imágenes puede capturar datos de diferentes tipos de cámaras de vídeo (con procesamiento interno o externo), conectadas con el sistema de captura y comunicación mediante una red 5G avanzada.

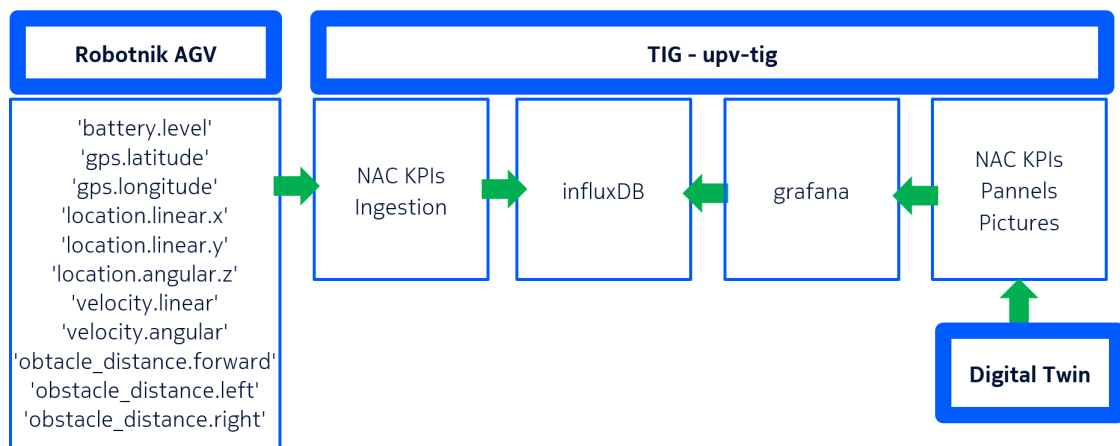
En el caso de las cámaras con procesamiento externo, los algoritmos de AI/ML se ejecutan en un nodo Edge, el sistema de captura y comunicación está optimizado para la transmisión de datos de vídeo a través de redes 5G avanzadas. La información procesada es almacenada en la base de datos interna para su posterior visualización.



### 2.2.3. P3.2 - Prototipo de gemelo digital con inteligencia artificial basada en radares

El prototipo de gemelo digital que se ha implementado e integrado de Robotnik monitoriza en el gemelo digital su posición en tiempo real y también los datos de sus distancias LIDAR y de otros valores facilitados.

En la siguiente figura se puede ver un diagrama general de los componentes del sistema de referencia de integración del robot de Robotnik para los Gemelos Digitales del proyecto:



### 2.2.4. P4.1 - Creación del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Este entregable incluye una primera planificación de actividades y una primera entrega de equipos y material para el laboratorio de experimentación. También incluye un primer plan de pruebas y de testeo de KPIs generados en el laboratorio.

### 2.2.5. P4.2 - Laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos

El prototipo de gemelo digital que se ha implementado e integrado de Robotnik monitoriza en el gemelo digital su posición en tiempo real y también los datos de sus distancias LIDAR y de otros valores facilitados.

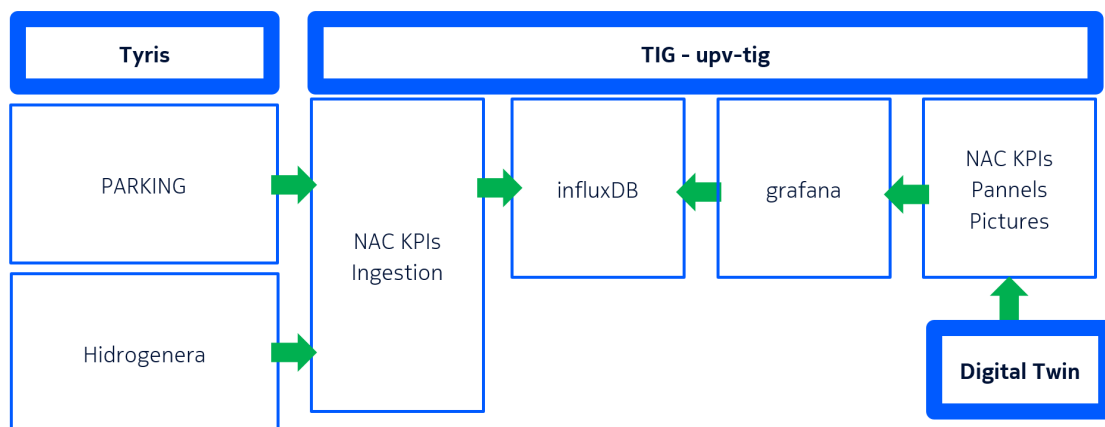
Esta actividad integra y valida los prototipos P3.1 y P3.2 en el laboratorio de gemelos digitales de la UPV y en los pilotos en el puerto. Los prototipos, que incorporarán el desarrollo completo del sistema de captura y comunicación, son validados (extremo a extremo) en la plataforma 5G avanzada IoT-edge-cloud desplegada en los laboratorios de la UPV y en la infraestructura de

Edge computing desplegada en el entorno portuario. Las medidas de KPIs de la red 5G avanzada permiten optimizar la configuración de todo el sistema (aplicaciones, gemelo digital, sistema de comunicación 5G avanzado, y recursos de computación).

Se pueden destacar los siguientes resultados:

- Arquitectura general del sistema
- NAC & Capif configuration
- Paneles integrados de monitorización de KPIs
- Detalles de información de paneles
- Paneles PARKING del Puerto de Valencia
- Paneles Supervisión de Hidrogenera del Puerto de Valencia
- Video de referencia del proyecto

En la siguiente figura se puede ver un diagrama general de los componentes del sistema de referencia de integración en el puerto de los sistemas de Tyrís en el Parking y en la Hidrogenera para los Gemelos Digitales del proyecto:



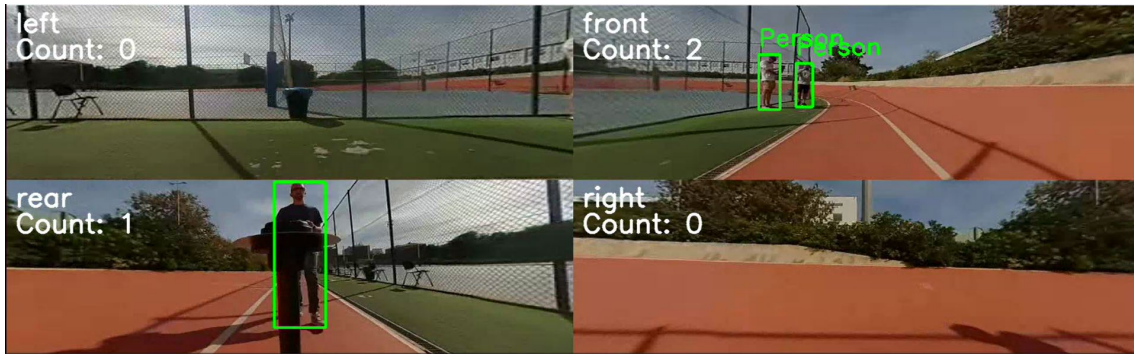
### 2.2.6. VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios

El piloto de validación de gemelos de esta actividad se ocupa de recuperar la información del entorno, y de los KPIs de las aplicaciones para almacenarla en la base de datos del proyecto y enviarla via NaC a las aplicaciones de gemelo digital implementadas en las actividades A6 y A11.

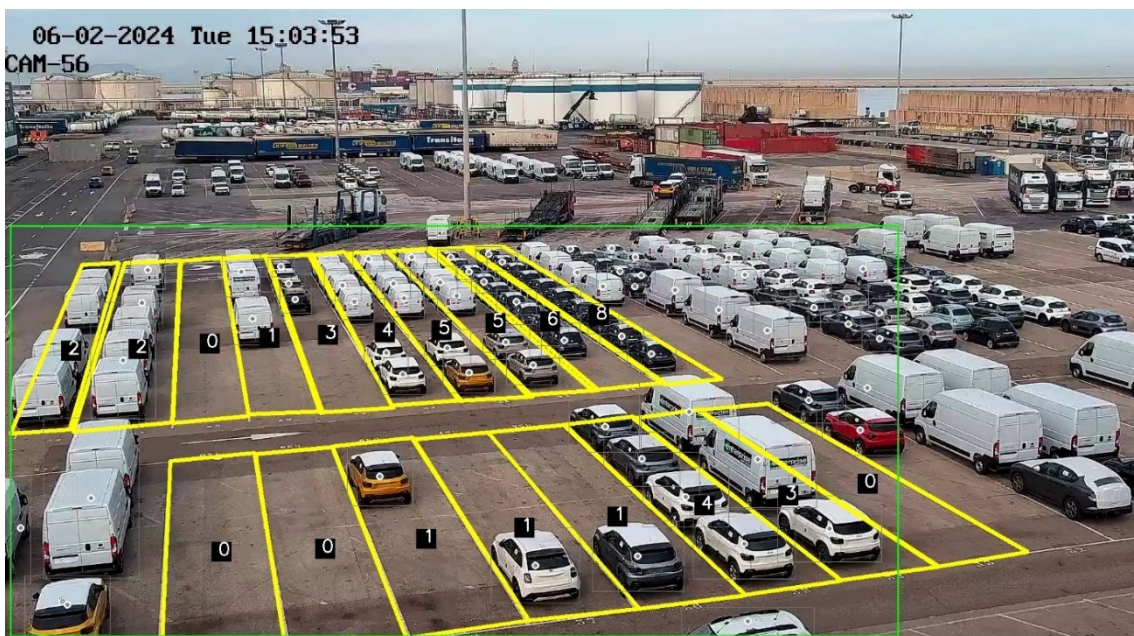
En esta tabla podemos ver los paneles informativos de KPIs relacionados con diferentes aplicaciones de gemelos digitales. En el SW del gemelo se integra la URL accesible mediante la API de Network as Code Hay tres APIs que también envían imágenes con Bounding Boxes

Item	Info	Panel	Panel2	URL NAC
Tyris Camera UPV	Distancias	200	Distancias a Cámara	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=200">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=200</a>
			Imagen bounding Boxes	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-carrera-front">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-carrera-front</a>
Tyris Parking Puerto	Coches	201	Coches en filas	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=201">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=201</a>
			Imagen bounding Boxes	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-parking">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-parking</a>
Tyris Peligro Puerto	Distancias	202	Personas en zona riesgo	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=202">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=202</a>
			Imagen bounding Boxes	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-peligro">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=tyris-peligro</a>
Robotnik LIDAR	Distancias	203	Distancias LIDAR	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=203">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=203</a>
Robotnik Estado AGV	Estado	204	Estado del AGV Robotnik	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=204">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=204</a>
Robotic Arm UPV	Ordenes y Detecciones	205	Ordenes y Detecciones	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=205">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=205</a>
Fivecomm Radio	Radio	206	Calidad Radio	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=206">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=206</a>
Fivecomm Energía	Energía	207	Consumo Energía	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=207">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=207</a>
Outdoor Radio	Radio	208	Calidad Radio	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=208">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=208</a>
Outdoor Energía	Energía	209	Consumo Energía	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=209">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=209</a>
Go2 Radio	Radio	210	Calidad Radio	<a href="http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=210">http://agv:Passw0rd_123@172.21.0.11:8880/render?panel=210</a>
			Imagen bounding Boxes	<a href="http://172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=nokia-unitree">http://172.21.0.11:8880/render?last_image_provider=nokia-unitree</a>

Las imágenes muestran las cuatro cámaras montadas en el AGV y las personas detectadas en cada una de ellas, así como un “bounding box” de los objetos detectados.



Otra API de NaC proporciona las imágenes con el número de coches detectados en cada fila ( rectángulo amarillo ) en el parking del puerto de Valencia



Las imágenes muestran un bounding box del número de personas detectadas en zona de riesgo ( en rojo en la imagen )



Para integrar la ubicación en tiempo real de objetos en el gemelo digital se ha integrado una llamada al API NaC para obtener su ubicación

Sistema Monitorizado	URL Grafana
Robotnik GPS	<a href="http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;viewPanel=26&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket= monitoring">http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;viewPanel=26&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket= monitoring</a>
Tracker GPS Puerto Policia	<a href="http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;viewPanel=36&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket= monitoring">http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;viewPanel=36&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket= monitoring</a>
Tyris Parking Puerto	<a href="http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket=_monitoring&amp;var-inter=10m&amp;viewPanel=17">http://172.21.0.10:3000/d/aec61899-3690-40b1-bf2c-67fd0e8837f9/imagen-b5g-modems-monitoring?orgId=1&amp;var-datasource=upv+&amp;var-bucket=_monitoring&amp;var-inter=10m&amp;viewPanel=17</a>

### 3. A6: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA PUERTOS

## 3.1.Descripción

En esta actividad se incluye el diseño, desarrollo, validación y optimización de un sistema virtualizado de gemelos digitales en tiempo real para un entorno portuario. La aplicación entregada en código abierto es capaz de actualizar los gemelos digitales en tiempo real, a partir de la información procesada por los componentes de AI/ML objeto de los lotes ADV5G-TWINS-VIDEO y ADV5G-TWINS-ROBOTICS-PORT.

La aplicación permite visualizar un escenario virtual estático sobre el que se representan los gemelos digitales de los objetos (avatares) en movimiento, permitiendo al operario hacer zoom sobre un objeto o zona del entorno determinados.

La visualización se puede realizar o bien en pantallas o de forma inmersiva usando dispositivos (gafas) de realidad virtual. Las aplicaciones de visualización, conjuntamente con los cockpits inmersivos, permitirán el uso de los gemelos digitales para entrenamiento en entornos simulados.

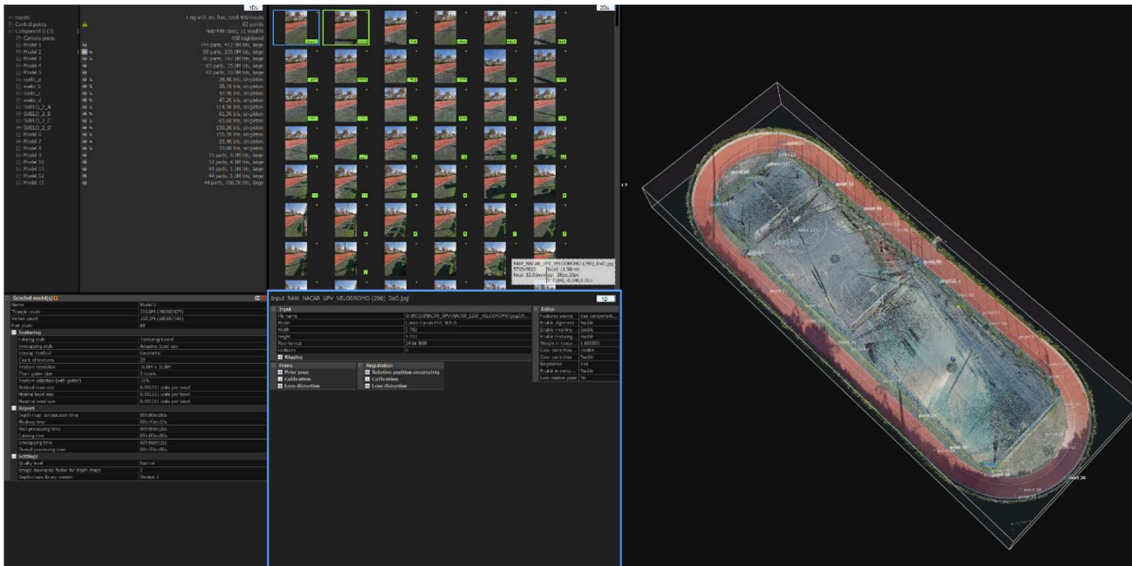
### 3.1.1. D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Esta actividad está alineada en su planificación con las actividades de plataforma de gemelos de la actividad A5 del proyecto. Se ha seleccionado "Reality Capture" como el software para procesar la información fotogramétrica de los entornos físicos de los gemelos digitales para generar el modelo en 3D.

El proyecto "velódromo" ha marcado un nuevo estándar en la representación de espacios deportivos, gracias a la integración de tecnologías de captura y modelado de última generación. Para este proyecto, se han capturado 361 imágenes de alta definición, cada una de 50 megapíxeles, garantizando una riqueza visual inigualable que resalta la magnificencia y el dinamismo del diseño.

La precisión en la representación ha sido elevada a un nivel superior con el uso de 25 estaciones de escaneo láser 3D. Esta meticulosa recopilación de datos ha permitido la creación de un modelo tridimensional del velódromo con una exactitud sin precedentes, capturando cada curva y textura del espacio con una claridad asombrosa.

En el núcleo de nuestra visualización digital se encuentra un objeto 3D inicialmente compuesto por 473 millones de triángulos. Este modelo ha sido cuidadosamente simplificado a 200 millones de triángulos para optimizar su manejo y visualización, sin comprometer la riqueza de detalles. Se han aplicado 26 texturas de alta resolución 16K, utilizando el 71% del espacio de UV disponible. Esta optimización ha resultado en una densidad de textura de 0.001211 unidades por texel, lo que refleja un equilibrio excepcional entre calidad visual y eficiencia de recursos.



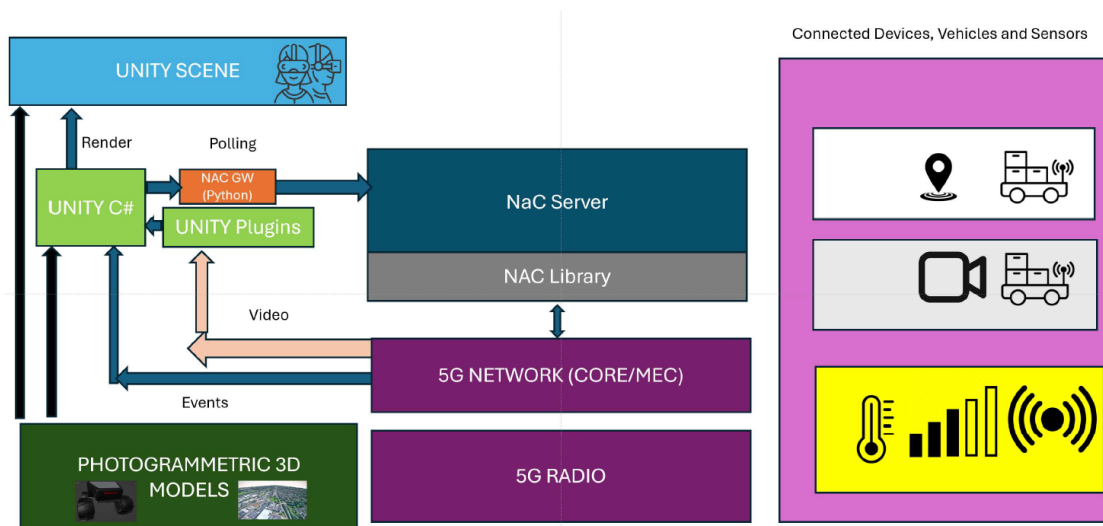
En el proyecto también se han procesado los modelos de los avatares (objetos) en Blender 4.0. Se han previsualizado y añadido a la fuente geométrica, se ha creado un material a partir de una textura, se ha extraído la imagen de la textura y se han exportado los objetos en formato FBX para poder ser utilizados en Unity.

### 3.1.2. D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Esta actividad contribuirá con la documentación de la arquitectura y la descripción del código implicado en la ejecución dinámica de la aplicación desarrollada en entorno Unity con la adición de módulos auxiliares conectados a la aplicación inmersiva.

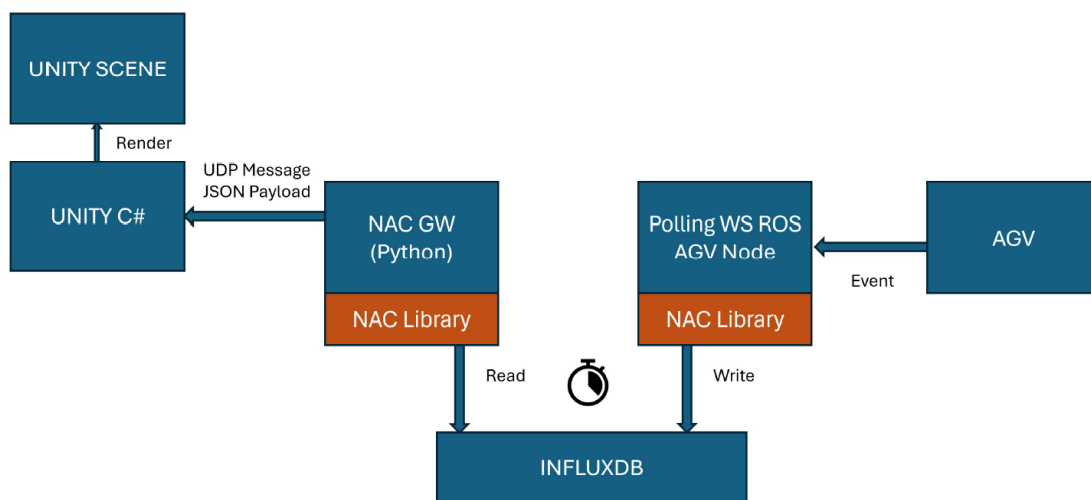
La arquitectura global es fundamental para entender como son los flujos de datos que alimentan la aplicación inmersiva del gemelo digital. En este caso tendremos un AGV que se posicionará en tiempo real en la aplicación de VR.

Los datos son inyectados de forma síncrona en InfluxDB a través del servidor de NAC. Periódicamente un Gateway consulta estos datos, para enviarlos, ahora sí de forma asíncrona hacia la capa de código de Unity asociada al GameObject contenedor del modelo 3D del AGV.



En ese punto ocurren las transformaciones de los sistemas de coordenadas adecuadas para poder ubicar en el punto exacto del mundo virtual al vehículo. Es importante notar que los modelos fotogramétricos y 3D son elementos estáticos que se integran en la aplicación, eso sí, instanciándose en tiempo real de una forma inicial y luego recolocándose con el tiempo.

En la siguiente figura se presentan los diferentes módulos integrados en la solución desplegada, donde se accede a las librerías de NaC mediante un API en Python.



### 3.1.3. D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Este documento es una evolución del entregable D3.2. Esta actividad describirá la arquitectura final del sistema de visualización de gemelos digitales en tiempo real desarrollado, así como el funcionamiento detallado de todos los componentes (incluida la integración con la base de datos interna y los cockpits inmersivos), sus funcionalidades y opciones de configuración, y recomendaciones para su correcta utilización y optimización. Se deberán incluir resultados de rendimiento/prestaciones de los diferentes componentes por separado y combinados. Las

prestaciones del sistema de visualización deberán evaluarse y optimizarse en redes 5G avanzadas, utilizando el cockpit inmersivo disponible, presentando medidas de KPIs de la red 5G y del sistema de visualización. El documento deberá proponer futuras líneas de investigación para mejorar la arquitectura y componentes de los gemelos digitales desarrollados.

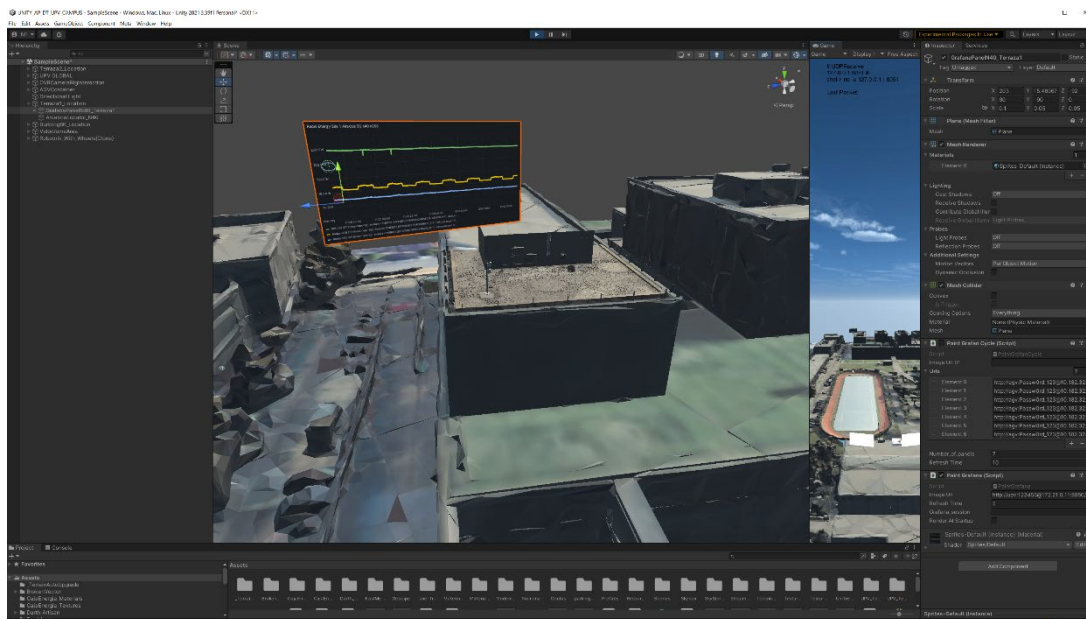
El código asociado a la evolución de los objetos en Unity está escrito en C#. Visual Studio es el editor asociado al proyecto (solución) que se crea automáticamente desde Unity basándose en los archivos de extensión cs que se encuentran en el directorio Assets.

AGVData	17/01/2024 14:59	Archivo de origen C#	1 KB
AGVSimpleData	10/01/2024 18:13	Archivo de origen C#	1 KB
ButtonInteraction	26/09/2024 19:56	Archivo de origen C#	3 KB
CamMove	28/11/2024 12:54	Archivo de origen C#	8 KB
CamMoveAction	04/10/2023 23:25	Archivo de origen C#	49 KB
InitialPos	14/11/2024 12:09	Archivo de origen C#	11 KB
InitialPosition	14/11/2023 12:17	Archivo de origen C#	1 KB
InstanceAsset001	14/11/2023 12:10	Archivo de origen C#	1 KB
MoveRobot	14/11/2023 12:22	Archivo de origen C#	5 KB
PaintGrafana	20/10/2024 17:25	Archivo de origen C#	5 KB
PaintGrafana_Cycle	15/10/2024 14:46	Archivo de origen C#	5 KB
PaintGrafanCycle	16/10/2024 18:33	Archivo de origen C#	5 KB
PanelController	27/09/2024 11:48	Archivo de origen C#	1 KB
RotatorScript	07/10/2024 10:56	Archivo de origen C#	1 KB
UDP_Processor	17/09/2024 22:11	Archivo de origen C#	6 KB

En la versión definitiva de la aplicación incorporamos un modelo 3D de baja resolución del campus completo obtenido a partir de datos procesados desde Google Earth.

Varias partes del gemelo digital proceden de fotogrametría que tiene un mayor nivel de detalle en las zonas de interés.

Se parte de un FBX que tiene la Terraza 1 y el velódromo con alto nivel de detalle, así como las antenas de N40 que están en dicha terraza. Este modelo se origina en un fichero en formato blender al cual se le ha cambiado la imagen de la superficie del campus que ha sido sustituida por una de mayor resolución. Una vez cambiado se procede al posterior exportado a FBX del nuevo modelo,



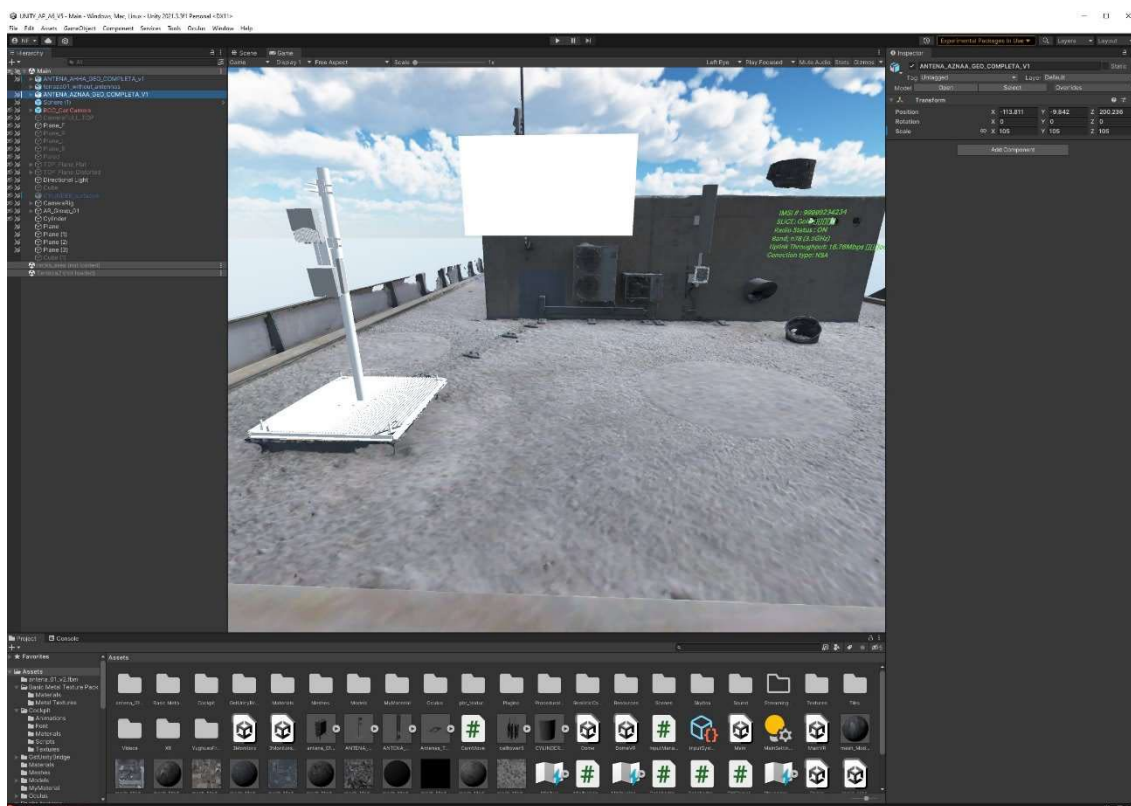
### 3.1.4. D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios

En este entregable se incluye una planificación inicial del despliegue del laboratorio, y también se detalla una entrega inicial de equipamiento y material para este laboratorio. También se ha incluido un plan inicial de pruebas de validación del modelo.

### 3.1.5. D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos portuarios

En este entregable se detalla cómo descargar el SW requerido para el laboratorio y cómo hay que configurarlo, incluyendo en detalle Unity, Python y NodeJS.

El software de Unity se descarga de Unity Hub, y hay que tener cuidado al instalar la versión alineada con el resto del SW. El software de Python debe ser instalado con la selección de componentes adecuada y configurar algunas variables manualmente en el entorno de Windows. El software de NodeJS tiene que personalizar una parte de la instalación y editar algunas variables de entorno.



Se incluyen aclaraciones sobre los modelos de licencias de Unity, y se pasa a verificar la conectividad adecuada a 5G mediante el acceso a la API de NaC.

Para que los datos en tiempo real de los avatares y sensores que se quieren representar en el mundo virtual copia del real puedan ser obtenidos y refrescados con fiabilidad en dicho mundo, será necesario que el intermediario encargado de recoger dichos datos, es decir, el Gateway de NaC, tenga dicho al servidor de NaC que se encuentra integrado con la red 5G en la que funcionará todo el entorno. Se proporciona un script escrito en Python que hace un chequeo de poder escribir un dato en la base de datos influxdb y leerlo a través del interfaz de Network as a Code

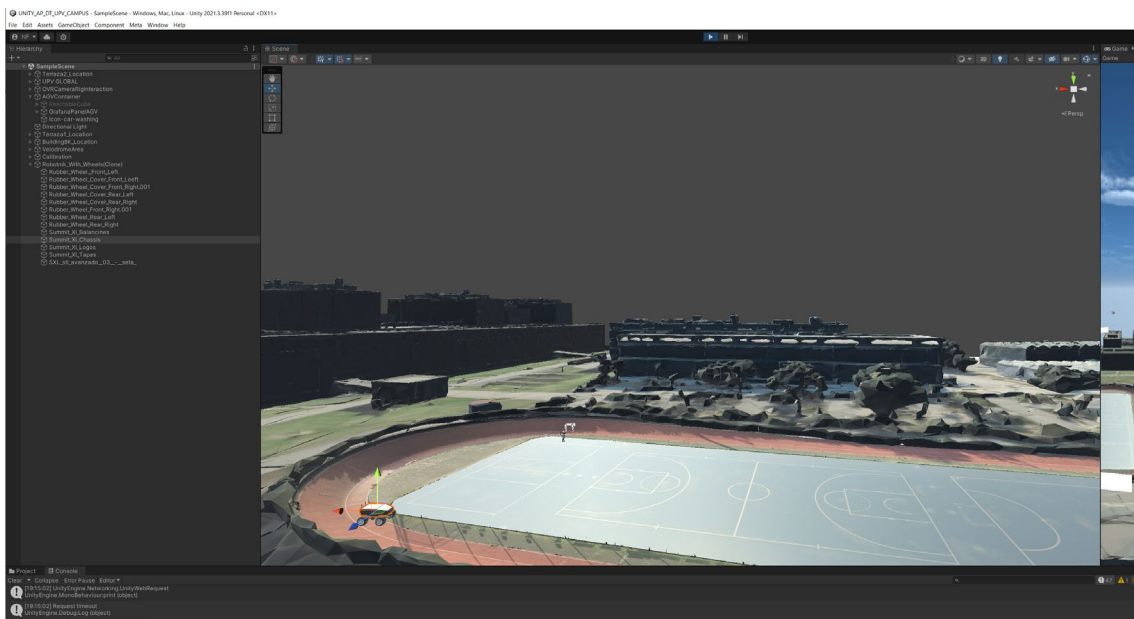
### 3.1.6. D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas portuarias

En este entregable se detalla todo el SW de instalación que hay que instalar para el gemelo digital del puerto, y también la integración de la información de los AGVs y sensores del piloto.

La comunicación “End-To-End” desde el conjunto de aplicaciones clientes que se ejecutan alrededor de la aplicación del gemelo digital es importante en la parte relativa a poder acceder a todos los sensores y datos del AGV en movimiento, especialmente su posición GPS.

Una vez instalado y configurado el software, si presionamos en el botón de “Play” se ejecutará la escena de Unity y el AGV se instancia en la posición inicial configurada en el interfaz de su contenedor con los datos que hayamos introducido en la parte superior derecha.

En la captura anterior se puede apreciar que no se ha instanciado el objeto asociado al AGV y que solo existe el contenedor.

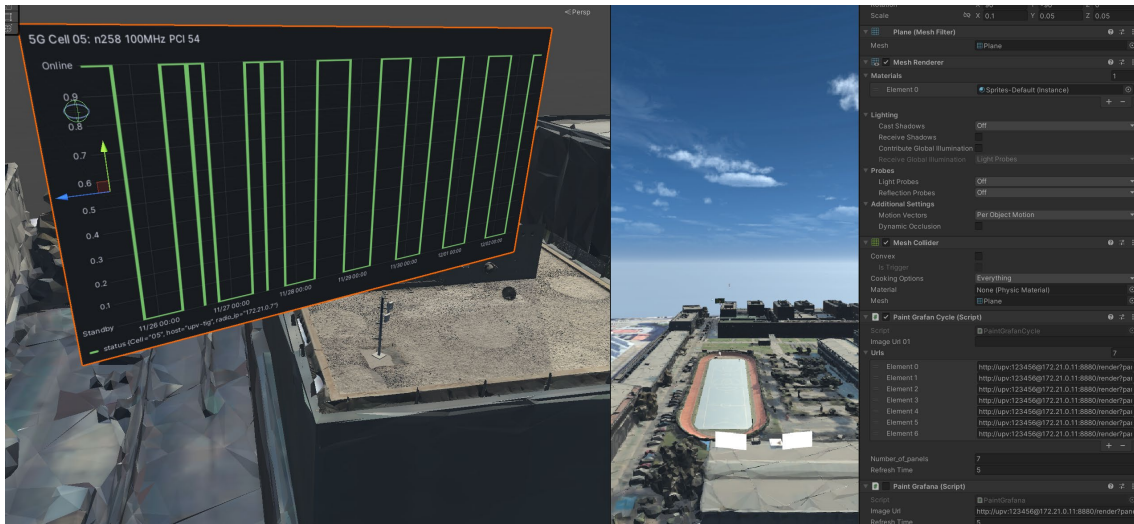


Posteriormente a pulsar el icono de reproducción, Unity comienza a funcionar en modo “juego”. A partir de ahí podemos ver que un objeto que representa a un AGV se ha instanciado debajo

del contenedor de ese primer AGV. En ese instante, aparece renderizado en la pantalla de Unity y situado en la posición inicial que se le haya especificado.

Para poder visualizar el mundo 3D del gemelo digital de forma inmersiva es necesario conectar el visor HMD (típicamente Oculus Quest2 o superior) por un cable USB-C de alta velocidad al PC en el cual se está ejecutando la aplicación de Unity.

Una vez conectado, se aceptan los dos cuadros de diálogo que aparecen dentro del visor para proporcionar los permisos adecuados y lanzar la aplicación de Oculus Link”



## 3.2. Resultados obtenidos

### 3.2.1. S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales

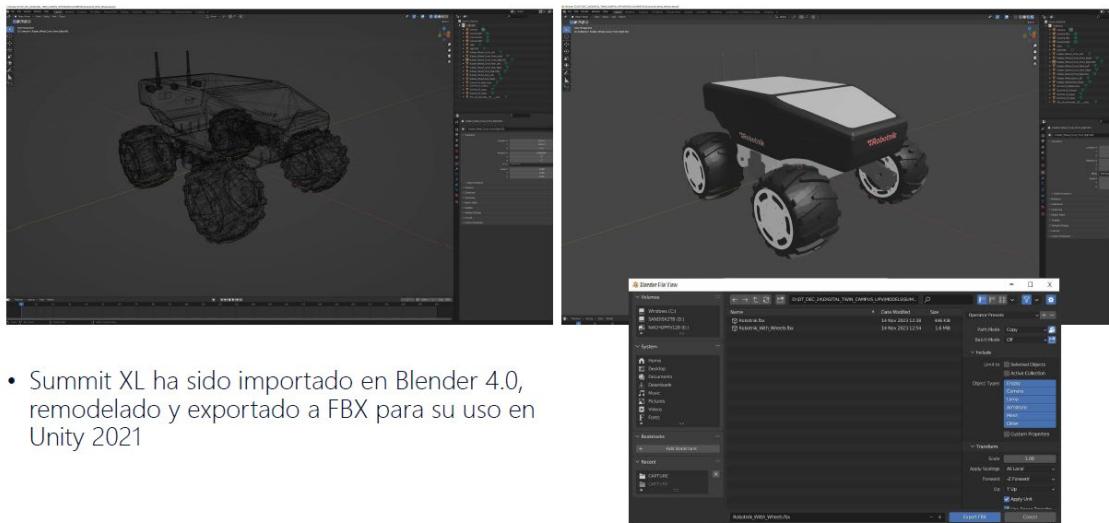
Los ficheros entregados se refieren a toda la estructura de directorios debajo del proyecto Unity. Por comodidad se entregará en formato zip comprimido.

Asset Name	Size	Count	Count	Count	Count	Date	Time	Status
C:\ADT\UNITY_AP_A6_VELODROMO_V7								
Assets								
Textures	58.8%	4.2 GB	32'565	31'171	1'394	03/03/2024	9:31:57	A
Geopipe	24.5%	4.2 GB	4'148	4'109	39	03/03/2024	9:31:57	A
<Files>	20.1%	1.0 GB	696	696	0	27/02/2024	7:13:52	A
velodromo_draft_07.fbx	17.5%	857.5 MB	2'952	2'346	6	27/02/2024	7:13:46	A
UPV_VELODROMO_v-FEB.fbx	15.3%	745.6 MB	72	72	0	01/03/2024	22:34:29	A
velodromo_lidar_pg_cesped_u0_v0_diffuse.png	54.3%	405.2 MB				06/02/2024	14:42:41	A
velodromo_lidar_pg_SUELO_2_A_u0_v0_diffuse.png	25.4%	189.6 MB				12/02/2024	8:48:41	A
velodromo_lidar_pg_SUELO_2_D_u0_v0_diffuse.png	4.2%	31.4 MB				07/02/2024	10:21:08	A
velodromo_lidar_pg_SUELO_2_C_u0_v0_diffuse.png	3.4%	25.6 MB				07/02/2024	10:21:08	A
velodromo_lidar_pg_SUELO_2_B_u0_v0_diffuse.png	3.4%	25.3 MB				07/02/2024	10:21:08	A
velodromo_lidar_pg_cemento_u0_v0_diffuse.png	3.2%	23.6 MB				07/02/2024	10:21:08	A
New Terrain.asset	2.8%	20.9 MB				07/02/2024	10:21:08	A
Robotnik_With_Wheels.fbx	2.4%	18.2 MB				07/02/2024	10:21:08	A
celltower5.fbx	0.3%	2.2 MB				07/02/2024	14:15:49	A
Summit_top.fbx	0.2%	1.6 MB				14/11/2023	11:54:25	A
Left_Wheel.fbx	0.1%	942.5 KB				23/01/2024	11:05:28	A
Right_Wheel.fbx	0.0%	378.2 KB				05/10/2023	13:15:06	A
CamMoveAction.cs	0.0%	261.3 KB				18/10/2023	17:10:21	A
TestActions.inputactions	0.0%	261.1 KB				20/10/2023	7:45:18	A
DigTwin01.inputactions	0.0%	48.5 KB				04/10/2023	21:25:32	A
UPV_VELODROMO_v-FEB.fbx.meta	0.0%	31.5 KB				27/02/2024	11:57:10	A
velodromo_draft_07.fbx.meta	0.0%	31.5 KB				04/10/2023	20:58:40	A
InitialPos.cs	0.0%	31.5 KB				04/10/2023	20:48:16	A
UDP_Processor.cs	0.0%	6.9 KB				12/02/2024	9:43:45	A
MoveRobot.cs	0.0%	6.0 KB				12/02/2024	9:42:11	A
CamMove.cs	0.0%	5.5 KB				12/02/2024	11:43:46	A
PaintGrafana.cs	0.0%	5.3 KB				26/01/2024	11:32:54	A
celltower5.fbx.meta	0.0%	4.3 KB				14/11/2023	11:22:04	A
Left_Wheel.fbx.meta	0.0%	3.5 KB				13/02/2024	13:26:29	A
Right_Wheel.fbx.meta	0.0%	3.3 KB				01/03/2024	22:34:29	A
Robotnik_With_Wheels.fbx.meta	0.0%	2.6 KB				25/01/2024	14:28:26	A
Left_Wheel.fbx	0.0%	2.6 KB				18/10/2023	21:27:57	A
Right_Wheel.fbx	0.0%	2.6 KB				20/10/2023	7:45:39	A
Robotnik_With_Wheels.fbx	0.0%	2.6 KB				14/11/2023	12:02:19	A

### 3.2.2. P3.3 - Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital

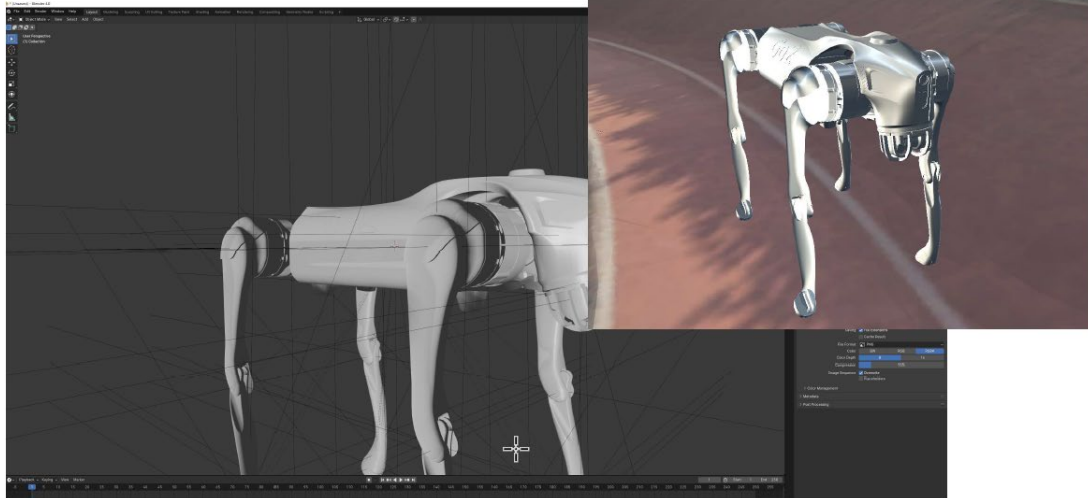
El prototipo de gemelo digital puede ser visualizado en pantallas o de manera inmersiva mediante el uso de gafas de realidad virtual. Los objetos virtuales se actualizan en tiempo real en base a información facilitada por otros componentes del gemelo digital y almacenada en la base de datos interna (virtualizada y preferiblemente compatible con DLTs), por parte de los componentes de inteligencia artificial por reconocimiento de imágenes (ADV5G-TWINS-VIDEO), radares y robots (ADV5G-TWINS-ROBOTICS-PORT). El prototipo de gemelo digital también permite visualizar información proporcionada por sensores, cámaras, radares y robots conectados por el sistema de captura y comunicación. El prototipo de gemelo digital se puede integrar con los prototipos P3.1 y P3.2 formando un único gemelo digital. El prototipo se integra satisfactoriamente con el cockpit inmersivo de la actividad ADV5G-IMM-COCKPIT del subproyecto Avanzando-5G-Inmersivo-Háptico.

#### Robotnit Summit XL in Blender Model



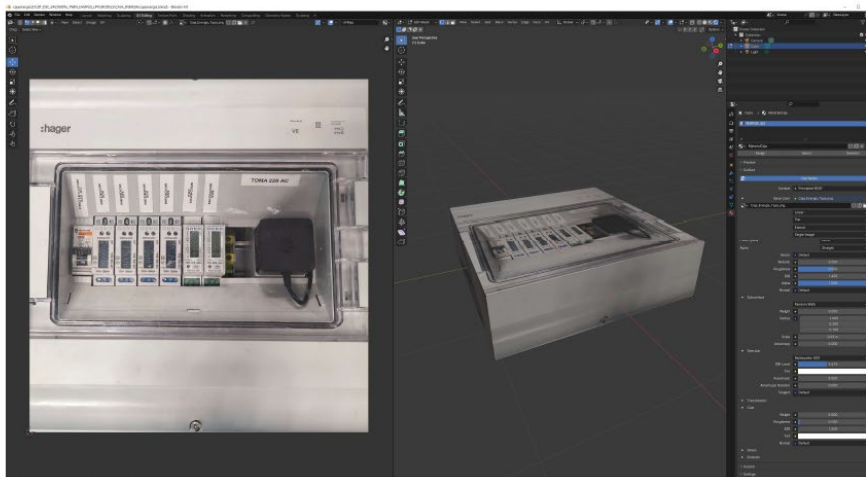
- Summit XL ha sido importado en Blender 4.0, remodelado y exportado a FBX para su uso en Unity 2021

## Unitree Go2 in Blender Model



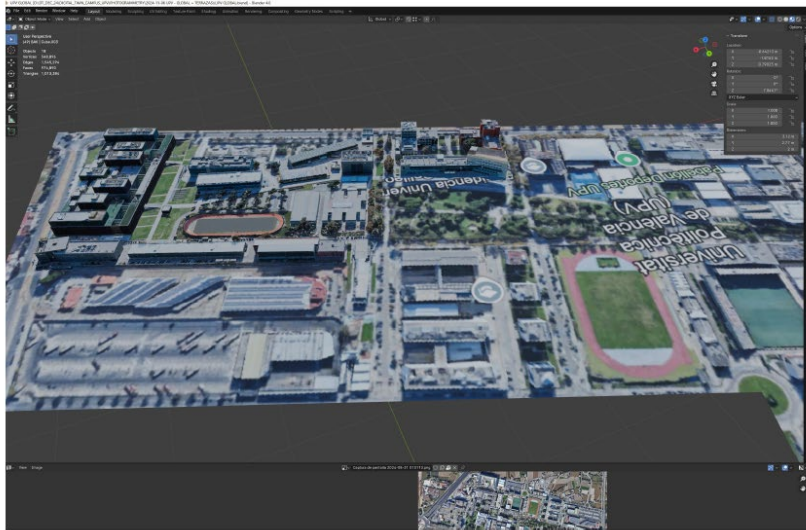
- El modelo de Unitree Go 2 fue originalmente importado desde formato USD. Posteriormente se retocó en Blender 4.0 y exportó en formato FBX para su posterior uso en Unity. En Unity se modificaron de nuevo las texturas.

## Modelado de la caja de Energía en Blender



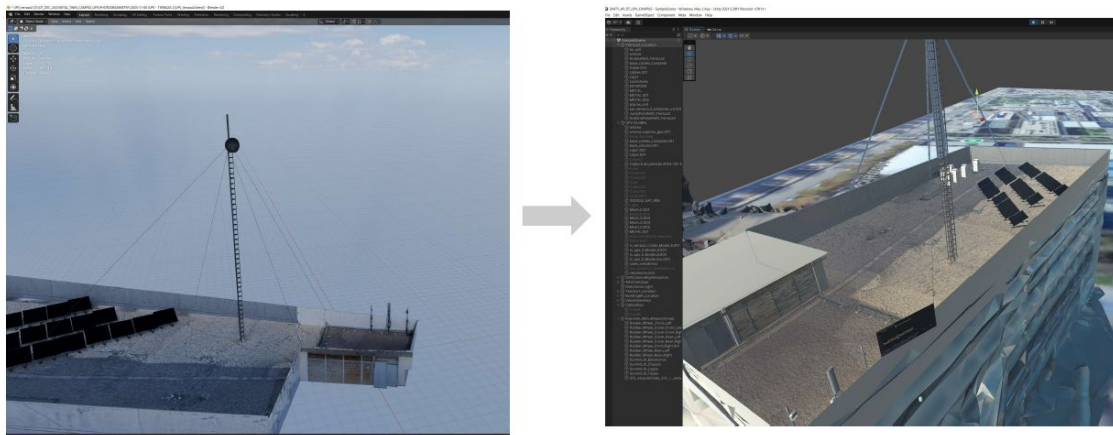
- Se modeló la caja mediante un simple cubo deformado al que se le aplicó una textura consistente en una foto de la zona superior y procesada por nodos de Blender para tener las difusiones de color adecuadas así como la adecuada proyección UV.

## Modelado Campus Fase 1



- En una primera fase se coge un modelo combinado de fotogrametría procedente de Google Earth junto con fotogrametría manual de algunos elementos.

## Modelado Campus Fase 2



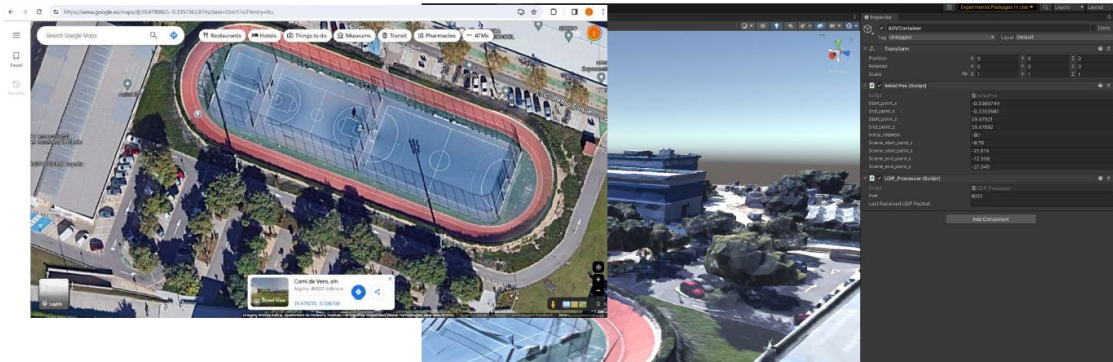
- En una segunda fase se coge el modelo fotogramétrico de alta Calidad del edificio Nexus y se fusiona con las mallas existentes en Unity para dar un efecto de continuidad

### 3.2.3. P4.1 - Creación del laboratorio y piloto de gemelos digitales en tiempo real para puertos

En este primer prototipo se incluye la puesta en marcha del piloto incluyendo un cambio a nueva versión de Unity y usando la Importación en Unity Hub. Se ha integrado el patrón de obtención de datos en NaC, la calibración inicial del escenario con “-v Google Maps – Coordinates”, las pantallas con sensores, y finalmente el uso de los controladores para moverse por el gemelo.

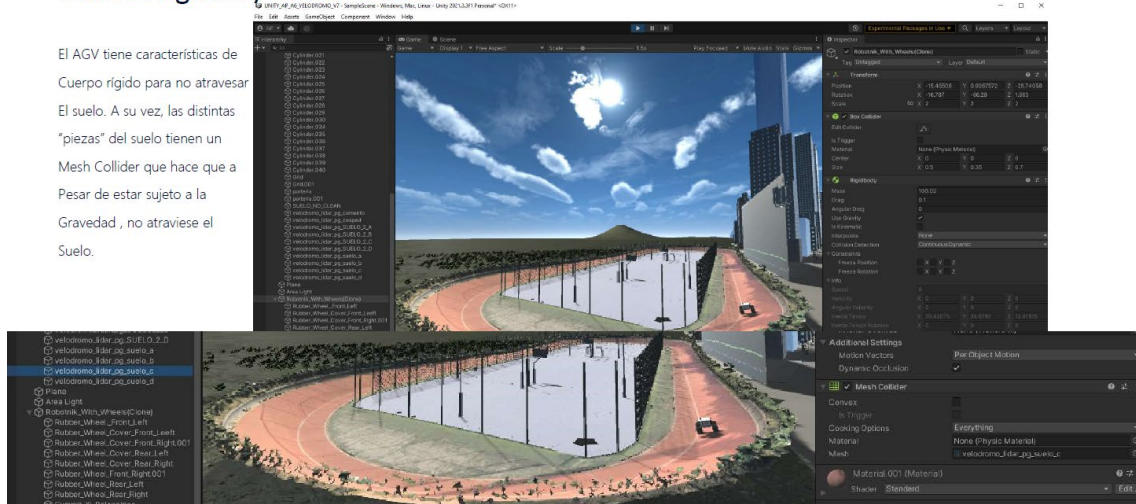
## Calibración inicial del escenario -v Google Maps - Coordinates

Es necesario hacer conversiones de las coordenadas GPS proporcionadas por el navegador a las coordenadas locales en Unity. Para conseguir que se efectúe esta conversión es necesario Conocer dos puntos de referencia. Para el caso del velódromo se marcaron esos dos puntos en Google Maps y en el modelo de Unity. Con estas parejas de puntos se puede hacer una conversión en los ejes x, z de Unity ( recordar que y se utiliza para altura ). El modelo a su vez puede estar rotado en Unity respecto al norte geográfico por lo que es necesario otra corrección. Para el eje y y altura no se hace conversión, se utiliza un modelo físico para que el AGV no pueda atravesar la malla 3D del velódromo hacia abajo.



## Sólidos rígidos y Mesh Colliders

El AGV tiene características de Cuerpo rígido para no atravesar El suelo. A su vez, las distintas "piezas" del suelo tienen un Mesh Collider que hace que a Pesar de estar sujeto a la Gravedad , no atravesie el Suelo.



## Uso de los controladores - Input System - Unity 202\*



El mando Izquierdo permite moverse Hacia la izquierda y la derecha en la escena Y hacia delante y detrás.

El mando derecho utiliza el joystick en Movimiento vertical para subir arriba y Abajo en la escena. El movimiento horizontal del joystick Generará rotación desde el punto de Vista de la cámara.

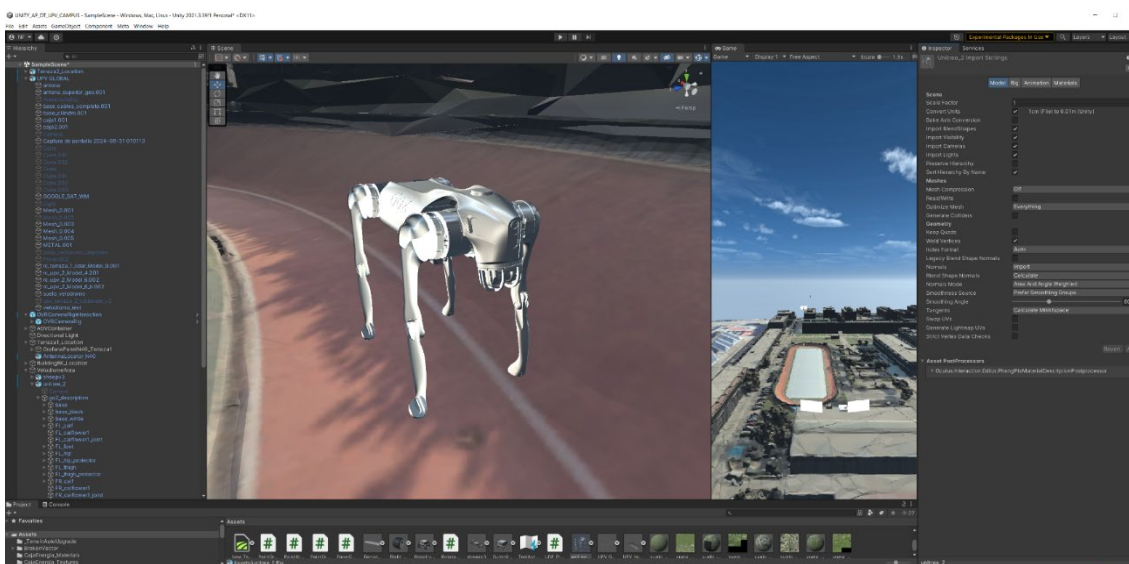
### 3.2.4. P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para puertos

Esta actividad integra y valida el prototipo P3.3 en el laboratorio de gemelos digitales de la UPV y en los pilotos en el puerto. El prototipo será validado (extremo a extremo) en la plataforma 5G avanzada IoT-edge-cloud desplegada en los laboratorios de la UPV y en la infraestructura de Edge computing desplegada en el entorno portuario. Las medidas de KPIs sobre la red 5G avanzada permitirán optimizar la configuración de todo el sistema (aplicaciones, gemelo digital, sistema de comunicación 5G avanzado, recursos de computación)

Vista del edificio de la Terraza 1 con configuración de paneles cíclicos:

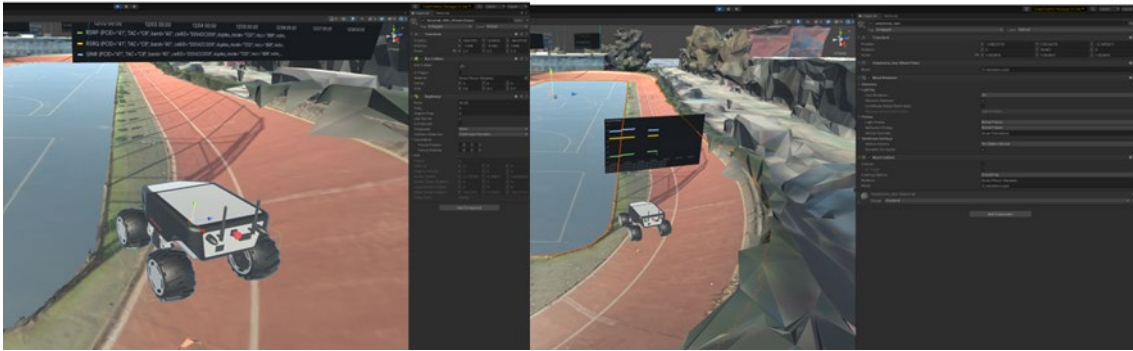


Cudrúpedo instanciado en Velódromo:



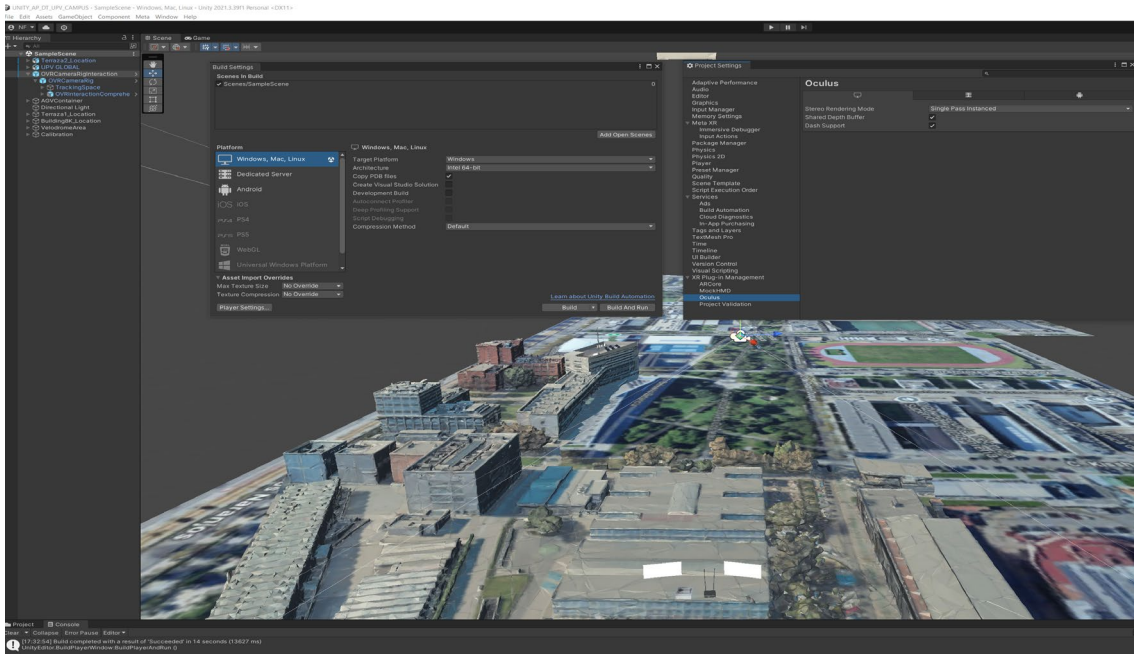
En aplicación de Unity, un AGV (Vehículo Guiado Automáticamente) está configurado con un componente de Cuerpo Rígido (Rigid Body) para simular comportamientos físicos realistas como el movimiento y la influencia de fuerzas, por ejemplo, la gravedad. Esto asegura que el AGV no atraviese el suelo, ya que el Rigid Body permite que el objeto reaccione a las colisiones y ajustes físicos dentro del entorno simulado.

Por otro lado, las diferentes "piezas" que componen el suelo están equipadas con un Mesh Collider. Un Mesh Collider es un componente que facilita la detección de colisiones en objetos de formas complejas a partir de sus mallas 3D. Este tipo de colisionador usa el contorno exacto de la malla para determinar interacciones físicas, lo que significa que cuando el AGV se acerca al suelo, el Mesh Collider bloquea cualquier intento de atravesarlo, manteniendo el realismo físico del entorno. A pesar de que el AGV está afectado por la gravedad debido al Rigid Body, el Mesh Collider del suelo asegura que las colisiones se gestionen de manera precisa, evitando que el AGV penetre a través del suelo.

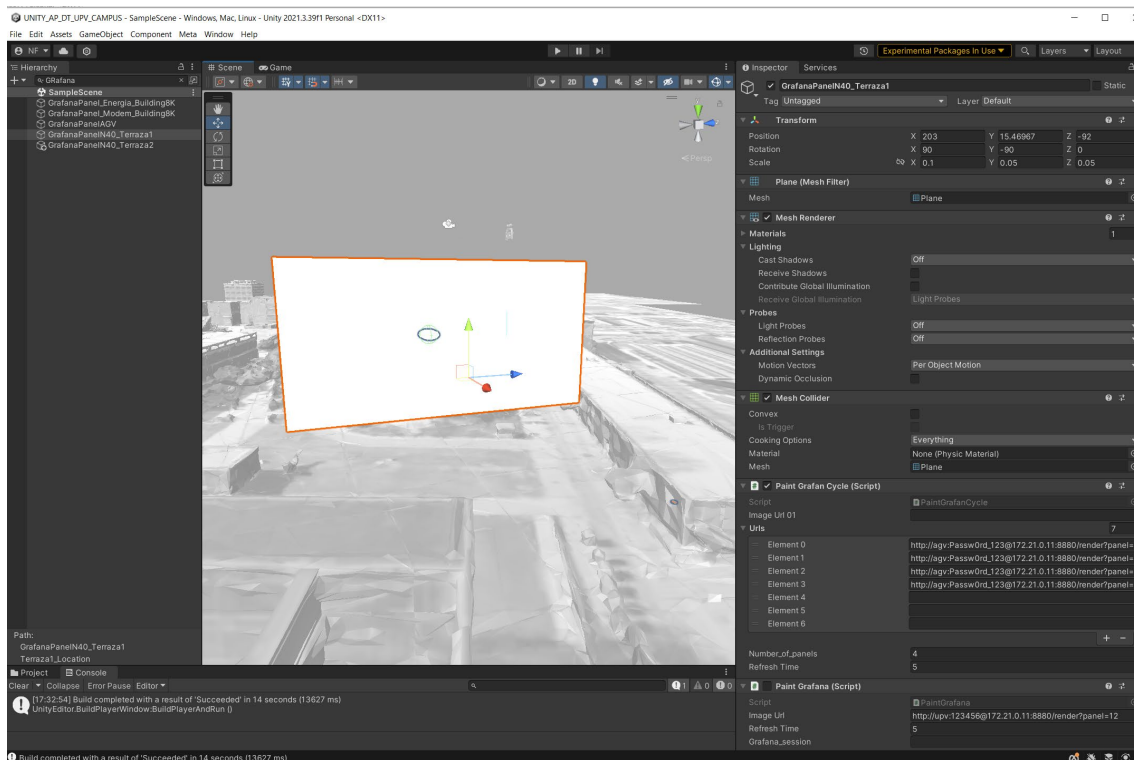


### 3.2.5. VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos portuarios

Validación de Player Settings – Oculus



Verificación de Paneles de NaC



## Inyección y recuperación de posición GPS del AGV

```

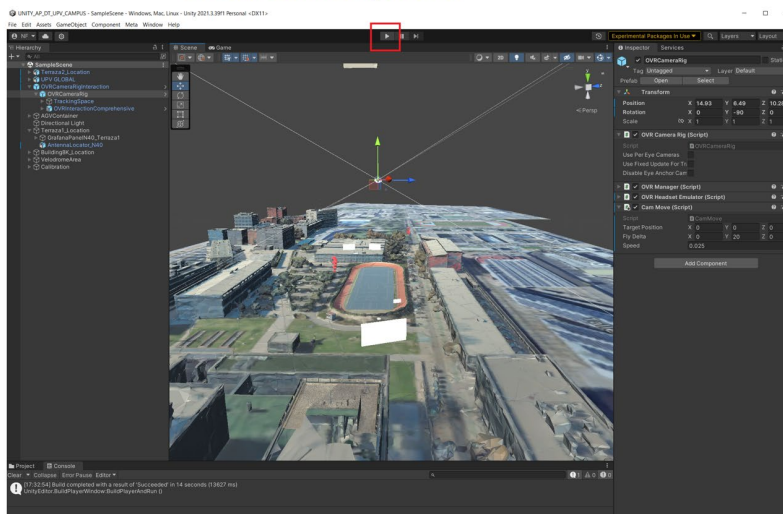
PowerShell 11/06/2024 11:47 302 config.ini.valencia
Default 15/05/2024 10:18 967 fake_AGV_Position_Sender.py
15/05/2024 10:18 64'634 nac_api-4.0.0-py3-none-any.whl
15/05/2024 10:18 90'585 nac_api-5.0.0.dev0-py3-none-any.whl
11/06/2024 11:35 112'159 nac_api-5.1.0-py3-none-any.whl
15/05/2024 10:18 1'506 NAC_Santity_Test.py
06/12/2024 09:33 <DIR> OLD_PPT
06/12/2024 09:39 <DIR> OLD_SCRIPTS
06/12/2024 09:29 1'637 Read_AGV_KPIS.py
06/12/2024 13:14 2'210 Read_AGV_KPIS_REST.py
03/12/2024 14:37 2'349 Send_AGV_KPIS.py
02/12/2024 12:38 <DIR> TMP
15 archivos 285'560 bytes
5 dirs 1'186'407'440'384 bytes libres

```

- **Read\_AGV\_KPIS.py**: Lee la última posición de GPS **simulada** en InfluxDB a través de NaC y la envía a Unity por UDP a 127.0.0.1 Puerto 8051
- **Read\_AGV\_KPIS\_REST.py**: Lee la última posición de GPS **real** en InfluxDB a través de un mediador REST de NaC y la envía a Unity por UDP a 127.0.0.1 Puerto 8051
- **Send\_AGV\_KPIS.py**: Inyecta valores simulados de GPS en un trayecto para poder hacer pruebas

Ejecución de la app desde el editor de Unity

## 2. Pulsar el botón Play en Editor



## 1. Conectar los controladores



# 4. A11: VISUALIZACIÓN DE GEMELOS DIGITALES PARA INDUSTRIA 4.0

## 4.1. Descripción

Esta actividad incluye la integración del sistema de visualización en los dos puestos de control (cockpits) inmersivos desarrollados por la actividad A9 CONDUCCIÓN Y CONTROL REMOTO INMERSIVO (ADV5G-IMM-COCKPIT) del subproyecto Avanzando-5G-Inmersivo-Háptico (TSI-063000-2021-111), para permitir una interacción manual con el entorno, principalmente para controlar manualmente robots móviles de forma remota. Se ha desarrollado una interfaz gráfica de conducción remota que mostrará al usuario información relevante recopilada por los gemelos digitales a partir del resto de actividades.

La aplicación permite visualizar un escenario virtual estático sobre el que se representan los gemelos digitales de los objetos (avatares) en movimiento, permitiendo al operario hacer zoom sobre un objeto o zona del entorno determinados.

La visualización se puede realizar o bien en pantallas o de forma inmersiva usando dispositivos (gafas) de realidad virtual. Las aplicaciones de visualización, conjuntamente con los cockpits inmersivos, permitirán el uso de los gemelos digitales para entrenamiento en entornos simulados.

### 4.1.1. D2.1 - Definición de casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

Esta actividad contribuye con una primera propuesta de casos de uso, requisitos y KPIs de aplicaciones avanzadas 5G-IoT de gemelos digitales en tiempo real para entornos logísticos portuarios. Se ha colaborado con la actividad principal ADV5G-TWINS-LOGISTICS en la definición de casos de uso, detallando información sobre el sistema de captura y comunicación de gemelos digitales.

El caso de Uso finalmente definido es el de diseñar y crear una aplicación que soporte un modelo virtual estático de un escenario industrial y de unos avatares de objetos móviles que pueda usar un operador de infraestructuras industriales para monitorizar el estado actual de la infraestructura real a través de internet.

Para ello en el caso de uso será un profesor y sus alumnos que podrán utilizar una aplicación inmersiva y podrán:

- El modelo VR representará fehacientemente el entorno industrial, que deberá generarse en base a fotogrametría avanzada. Se ha elegido el modelo de despliegue de antenas 5G, y en esta fase del proyecto son las antenas actualmente desplegadas en el campus de la UPV.
- Alumnos: Utilizar un ordenador donde se ejecutará el modelo VR y que tendrá acceso a Internet de banda ancha
- Alumnos: Utilizar unas gafas de VR conectadas al ordenador para visualizar el modelo.
- Alumnos: Utilizar un mando de control que le permitirán moverse dentro del entorno virtual
- Alumnos: Dentro de la aplicación virtual, al lado de las antenas representadas, los alumnos podrán observar paneles de consumo energético en tiempo real de estos equipos
- Profesor: Grabar un vídeo explicativo de la clase que se puede asociar a la aplicación inmersiva

#### **4.1.2. D2.2 - Evolución de los casos de uso, requisitos y KPIs de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0**

El caso de uso inicialmente contemplado evoluciona y se centra en tener un gemelo digital del puerto de Valencia en el que se integrarán distintos sensores del funcionamiento del despliegue 5G en dicho ámbito.

Adicionalmente se representarán las salidas de procesos de detección de personas y objetos obtenidos mediante técnicas de inteligencia artificial. Dichas representaciones podrán hacerse bien por la renderización de paneles gráficos en tiempo real o bien por la instanciación y colocación de objetos 3D virtuales en el mundo de la aplicación.

También se ubicará la posición de distintos elementos móviles como por ejemplo un AGV o un coche de policía.

Se debería poder moverse mediante controladores estándar de HMD o bien con atajos de teclado para conseguir otro tipo de funciones de ubicación.

De acuerdo al nuevo alcance del caso de uso se redefinen los requisitos de Interfaces, BBDD, Entorno de Ejecución y Modelado. En la siguiente tabla se describen los requisitos relacionados con el modelado 3D:

Requirements	Subsystem	Description
M3D-00x1	Modelo 3D	Hay que generar un modelo de antenas situadas en el Puerto de Valencia
M3D-00x2	Modelo 3D	Hay que generar un modelo en 3D de paneles informativos para proyectar información de Energía
M3D-00x3	Modelo 3D	Hay que generar un modelo en 3D de paneles informativos para proyectar información de Radio
M3D-00x4	Modelo 3D	Hay que ser capaz de representar objetos 3D dependiendo de los datos obtenidos por NAC de AI
M3D-00x5	Modelo 3D	Hay que ser capaz de renderizar vehículos móviles con su posición mapeada en el gemelo digital

### 4.1.3. D3.1 - Diseño de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

Esta actividad contribuirá con proporcionar una historia documentada del proceso de captura y posterior procesado de datos fotogramétricos en entornos de Reality Capture y Blender para su posterior uso como entradas de modelos texturizados en el entorno final inmersivo producido en Unity.

En este documento se detallan los proyectos de fotogrametría de las dos terrazas de UPV donde se encuentran ubicadas las antenas 5G, el rack donde se encuentra el Core 5G y el Edge 5G, y también como se realiza el procesado intermedio en blender de la información para poder ser integrado en Unity.



Cuando se realiza el modelado de las terrazas, se puede observar que las partes relacionadas con las antenas ofrecen un aspecto bastante más irregular que en la realidad. Las antenas son objetos con una alta regularidad geométrica, por lo que en esa primera pasada del procesado completo del escenario de la terraza aparecen como poco realistas.

Es necesario tener un modelo 3D de la terraza en el que las antenas no aparezcan, para poder hacer la integración final en el editor de Unity.

Esto proporcionará mayor realismo a la vez que dotará de una mayor flexibilidad a la hora de conseguir que se puede ubicar la antena en distintas posiciones dependiendo del discurso didáctico de la aplicación final. Eso también permite resaltarlas o poner elementos 3D aumentados si fueran necesarios.

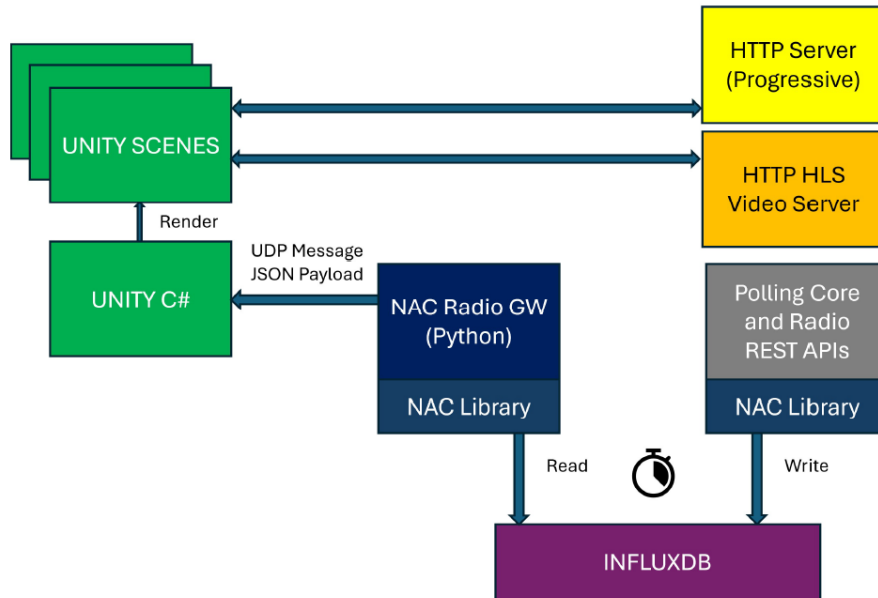
#### 4.1.4. D3.2 - Desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

Esta actividad describe los desarrollos que contribuyen con la presentación de los artefactos de código necesarios para poner en marcha una aplicación inmersiva capaz de representar videos en distintos escenarios inmersivos en los cuales el usuarios se podrá mover libremente utilizando los controles externos del dispositivo inmersivo ( Meta Quest 2 o Meta Quest 3).

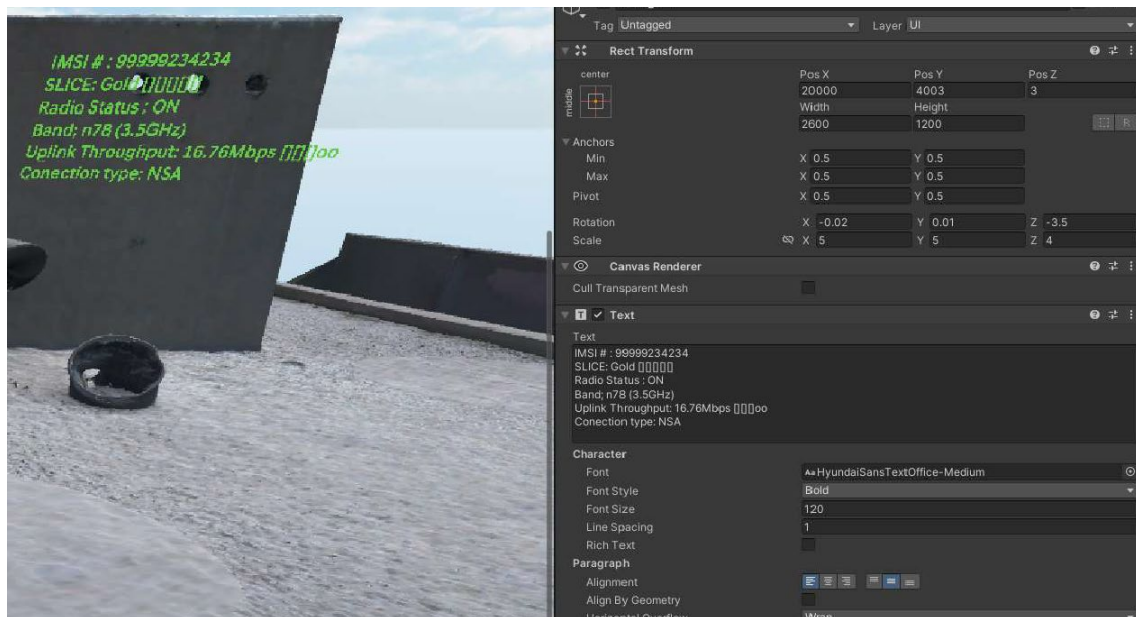
En el entregable se comienza introduciendo la Arquitectura desplegada, luego se detalla el código Unity asociado a la reproducción de vídeos locales y en la red, cómo se ha implementado un Head-Up Display con los KPIs de la radio, cómo se configura usa el interfaz NaC para

interaccionar con la infraestructura 5G. Posteriormente se define la interacción con los objetos 5G del escenario, el proceso de cambio entre los tres escenarios y finalmente cómo se configuran las pantallas de vídeo y cómo se muestran las gráficas de NaC.

Diagrama de alto nivel de la arquitectura del gemelo:



En la siguiente figura se muestran datos del Head.Up Display con información de la radio:



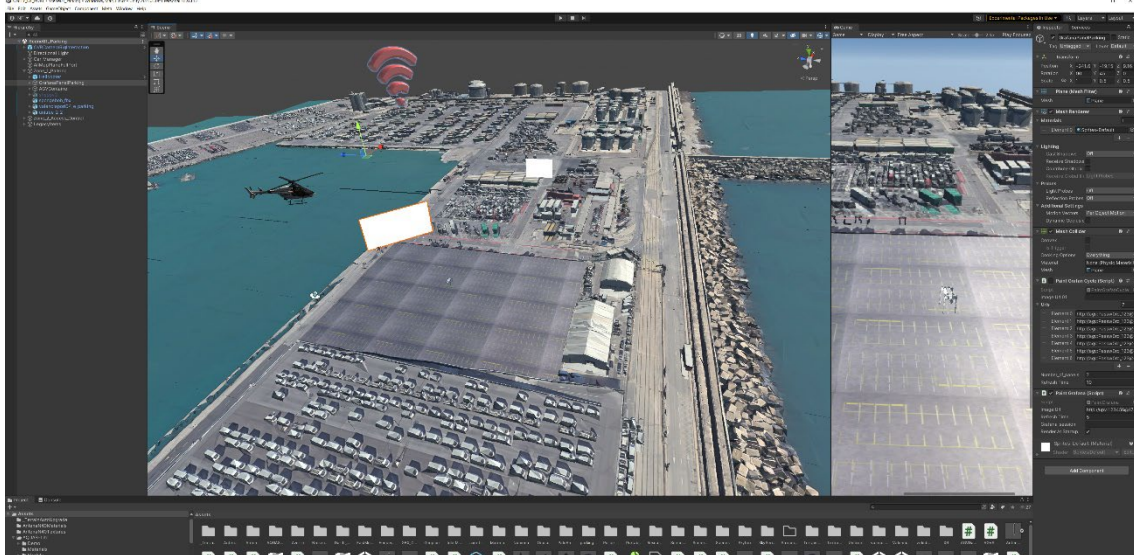
#### 4.1.5. D3.3 - Informe final sobre el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

Este documento es una evolución del entregable D3.2, y describirá la arquitectura final del sistema de visualización de gemelos digitales en tiempo real desarrollado, así como el

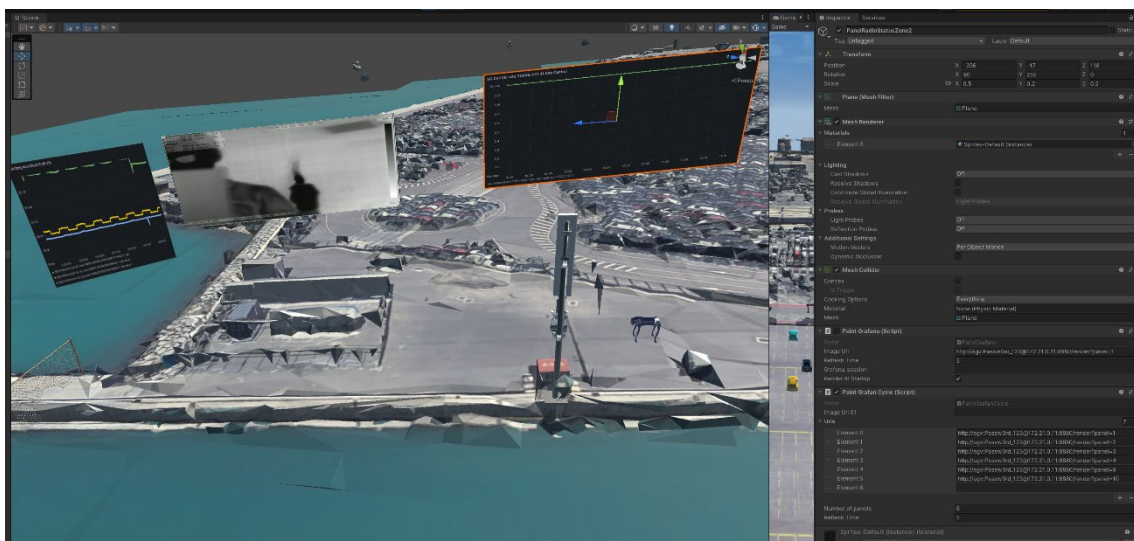
funcionamiento detallado de todos los componentes (incluida la integración con la base de datos interna y los cockpits inmersivos), sus funcionalidades y opciones de configuración, y recomendaciones para su correcta utilización y optimización. Se deberán incluir resultados de rendimiento/prestaciones de los diferentes componentes por separado y combinados. Las prestaciones del sistema de visualización deberán evaluarse y optimizarse en redes 5G avanzadas, utilizando el cockpit inmersivo disponible, presentando medidas de KPIs de la red 5G y del sistema de visualización. El documento deberá proponer futuras líneas de investigación para mejorar la arquitectura y componentes de los gemelos digitales desarrollados

En este documento se describe el código asociado a Unity de código C#- y el uso del paquete Oculus XR Plugin y componentes OVRInteractionComprehensive para el desplazamiento por la escena. Se detalla la implementación del Teletransporte para pasar de un escenario a otro, la descripción de la aplicación de Unity, la generación e importación de la modelos desde Google Earth en el gemelo digital, la configuración de NaC, la interacción con los objetos de 5G en el escenario, el posicionado de paneles de Grafana y finalmente se incluye un listado de ficheros de código de la aplicación.

En la siguiente figura se muestra el ejemplo de la zona del parking que es la primera ubicación:



En la segunda ubicación es donde está la zona restringida:



#### **4.1.6. D4.1 - Planificación del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales**

En este entregable se incluye una planificación inicial del despliegue del laboratorio, y también se detalla una entrega inicial de equipamiento y material para este laboratorio. También se ha incluido un plan inicial de pruebas de validación del modelo.

#### **4.1.7. D4.2 - Puesta en marcha del laboratorio y de los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para entornos industriales**

En este entregable se detalla cómo descargar el SW requerido para el laboratorio y cómo hay que configurarlo, incluyendo en detalle Unity, Python y NodeJS.

En este caso necesitamos tener acceso a los datos de los sensores. Dichos sensores pueden ser de tres tipos distintos:

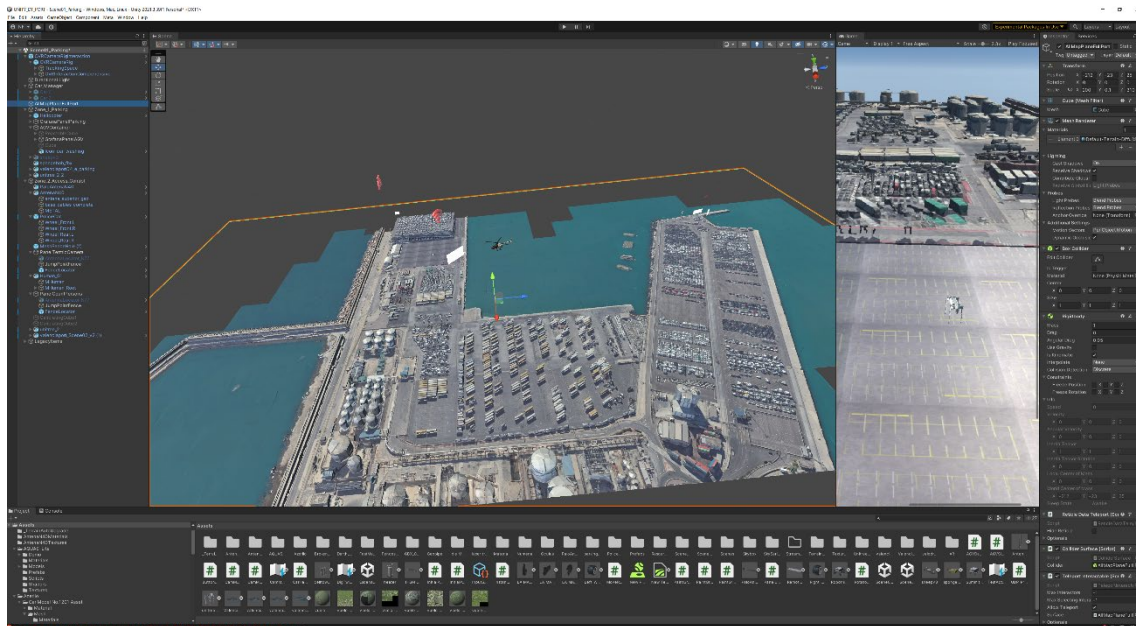
1. Permanentes que además están en una ubicación fija con un conjunto de metadatos a ser compartidos por el gemelo digital. Por ejemplo una antena 5G.
2. No permanentes pero con posición fija en el escenario real tridimensional. Por ejemplo una cámara fija desplegada en una ubicación temporalmente.
3. No permanentes y móviles a lo largo del escenario, por ejemplo, los AGVs.

En el documento se describe cómo es la integración de los datos provenientes de la plataforma industrial disponibles en el interfaz API NaC.

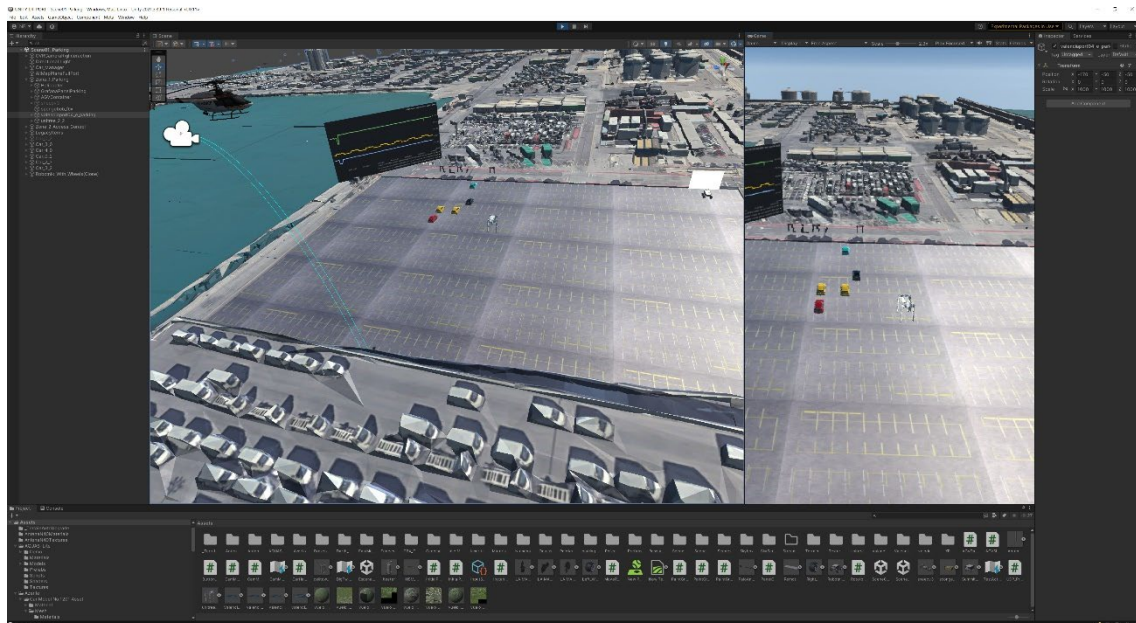
#### **4.1.8. D4.3 - Pruebas finales del laboratorio y pilotos de gemelos digitales en tiempo real en zonas industriales**

En este entregable se detalla todo el SW de instalación que hay que instalar para el gemelo digital en zonas industriales, y también la integración de la información de los AGVs y sensores del piloto.

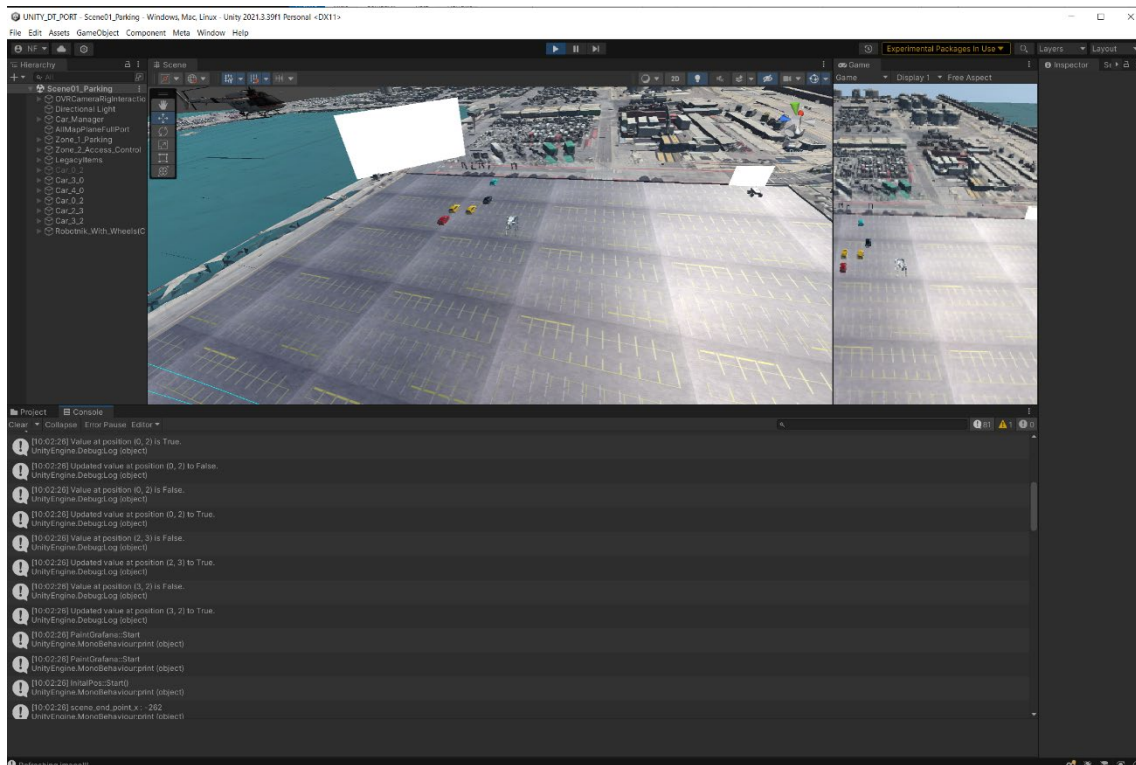
El interfaz de Unity al cargar el proyecto muestra una visualización parecida a la de la figura de abajo en la cual estamos en modo edición y todavía no se ha ejecutado la acción.



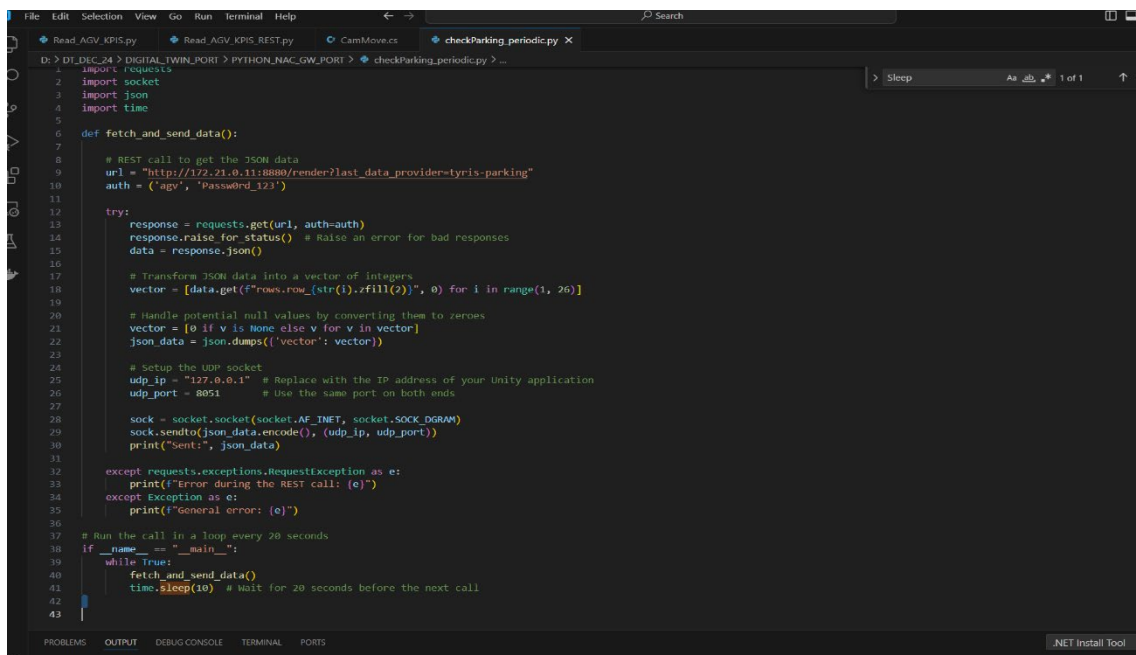
Posteriormente, si presionamos en el botón de “Play” se ejecutará la escena de Unity se instancian objetos y aparecerá la cámara.



Las trazas en donde se puede ver la evolución con las capas de aplicación que proporcionarán los datos nuevos y los objetos que ahora son visibles en la parte izquierda del entorno de Unity. Así es posible ver si se reciben datos nuevos que proceden de los últimos valores insertados en la base de datos y accedidos a través de la interfaz de NaC.



El código encargado de recibir los datos relativos a la ocupación del parking es el CarManager.cs



Desde la parte del interfaz con NaC, se utilizará el script checkParkingPeriodic.py



## 4.2. Resultados obtenidos

### 4.2.1. S3.3 - Software de visualización de gemelos digitales

Los ficheros entregados se refieren a toda la estructura de directorios debajo del proyecto Unity. Por comodidad se entregará en formato zip comprimido-

Directorio/Fichero	Tamaño	Porcentaje	Archivos	Caracteres	Lineas de código	Fecha	Hora	Acción
C:\DT\UNITY_AP_A11_PROFESOR_V6	8.2 GB		45'966	43'878	2'088	27/02/2024	8:31:20	
Assets	4.0 GB	48.8%	6'109	5'693	416	27/02/2024	8:31:19	
Library	3.4 GB	41.5%	39'382	37'778	1'604	27/02/2024	8:31:19	
Minibus_Data	335.0 MB	4.0%	190	181	9	27/02/2024	7:10:03	
<Files>	157.5 MB	1.9%	56	56	0	27/02/2024	8:25:14	
Minibus.unitypackage	44.9 MB	28.5%				11/02/2021	16:47:44	A
gub_test_debug_9_8.old.log	33.0 MB	20.9%				18/10/2022	10:47:23	A
UnityPlayer.dll	27.5 MB	17.5%				17/10/2022	16:38:05	A
UnityPlayer_Win64_player_mono_x64.pdb	21.1 MB	13.4%				17/10/2022	16:38:05	A
UnityPlayer_Win64_mono_x64.pdb	18.0 MB	11.4%				30/09/2020	15:42:16	A
gub_old.log	6.2 MB	4.0%				18/06/2021	15:17:12	A
UnityCrashHandler64.pdb	1.4 MB	0.9%				17/10/2022	16:38:05	A
UnityCrashHandler32.exe	1.3 MB	0.8%				30/09/2020	16:27:52	A
UnityCrashHandler64.exe	1.1 MB	0.7%				17/10/2022	16:38:05	A
Minibus.exe	638.5 KB	0.4%				17/10/2022	16:38:05	A
WindowsPlayer_Master_mono_x64.pdb	388.0 KB	0.2%				30/09/2020	15:39:34	A
WindowsPlayer_player_Master_mono_x64.pdb	372.0 KB	0.2%				17/10/2022	16:38:05	A
Assembly-CSharp.csproj	102.9 KB	0.1%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.Platform.csproj	70.3 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Assembly-CSharp-Editor.csproj	65.3 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.VR.csproj	60.9 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Unity.PackageManagerUI.Editor.csproj	60.6 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
Unity.TextMeshPro.Editor.csproj	59.6 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
Unity.TextMeshPro.csproj	58.9 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
Facebook.WitAI.csproj	58.3 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Driving-app.Editor.csproj	56.8 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
Driving-app.csproj	56.6 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
Oculus.VR.Editor.csproj	56.6 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Facebook.Wit.Editor.csproj	56.6 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Unity.CollabProxy.Editor.csproj	56.5 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A
VoiceSDK.Editor.csproj	56.1 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.VR.Scripts.Editor.csproj	55.6 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.AudioManager.Audio.Editor.csproj	55.4 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.Spatializer.Editor.csproj	55.3 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.LipSync.csproj	55.1 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.LipSync.Editor.csproj	55.0 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Oculus.Platform.Editor.csproj	55.0 KB	0.0%				27/02/2024	8:25:14	A
Unity.XR.Oculus.Editor.csproj	55.0 KB	0.0%				20/05/2021	15:13:20	A

### 4.2.2. P3.3 -Prototipo de visualización inmersiva del gemelo digital

El prototipo de gemelo digital puede ser visualizado en pantallas o de manera inmersiva mediante el uso de gafas de realidad virtual. Los objetos virtuales se actualizan en tiempo real en base a información facilitada por otros componentes del gemelo digital y almacenada en la base de datos interna.

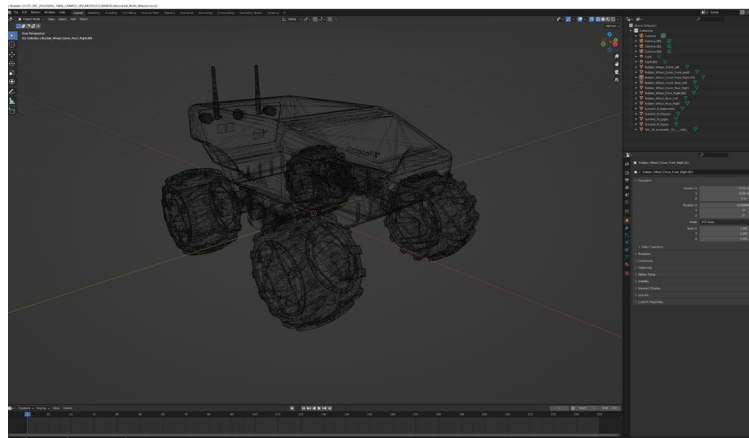
El prototipo de gemelo digital también permite visualizar información proporcionada por sensores, cámaras, radares y robots conectados por el sistema de captura y comunicación. El prototipo de gemelo digital se puede integrar con los prototipos P3.1 y P3.2 formando un

único gemelo digital. El prototipo se integra satisfactoriamente con el cockpit inmersivo de la actividad ADV5G-IMM-COCKPIT del subproyecto Avanzando-5G-Inmersivo-Háptico.

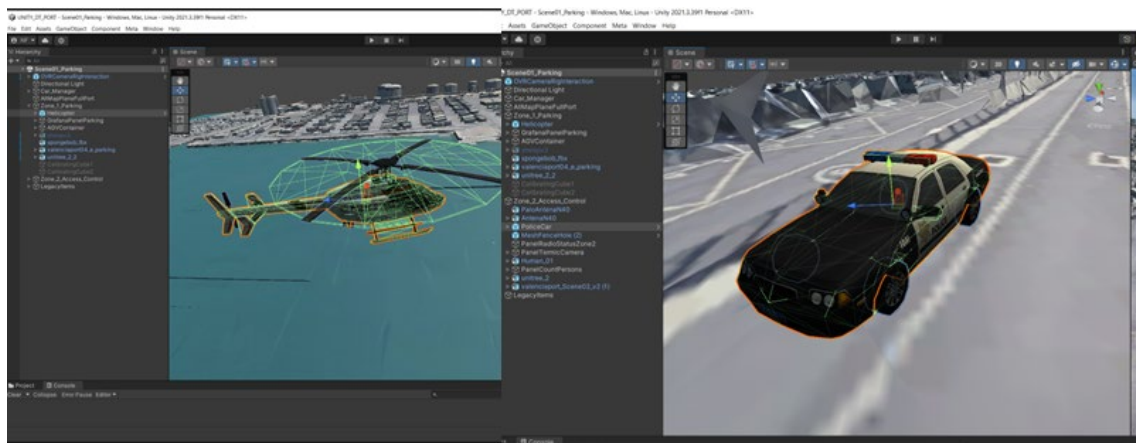
El modelo de Unitree Go 2 fue originalmente importado desde formato USD. Posteriormente se retocó en Blender 4.0 y export en formato FBX para su posterior uso en Unity. En Unity se modificaron de nuevo las texturas:



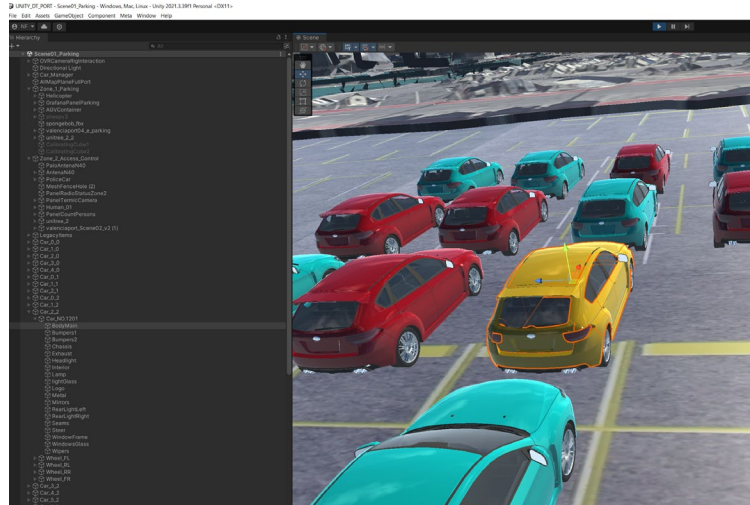
El objeto Summit XL ha sido importado en Blender 4.0, remodelado y exportado a FBX para su uso en Unity 2021:



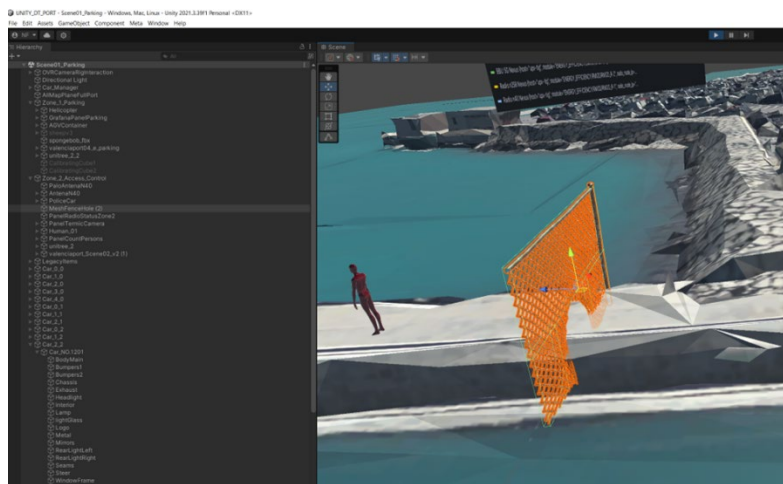
Los objetos Helicopter and Police Car han sido Importados directamente como prefabs desde El Unity Store:



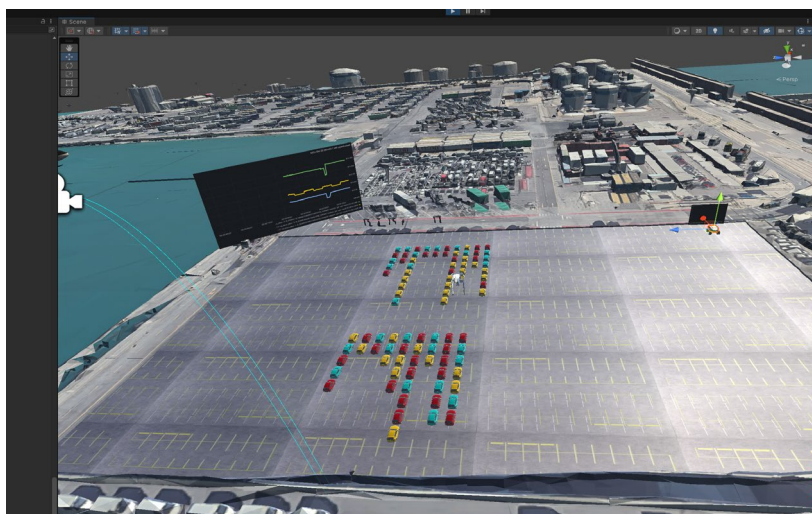
Los objetos asociados a coches normales que se insertan dinámicamente en la escena han sido Importados directamente como prefabs desde el Unity Store:



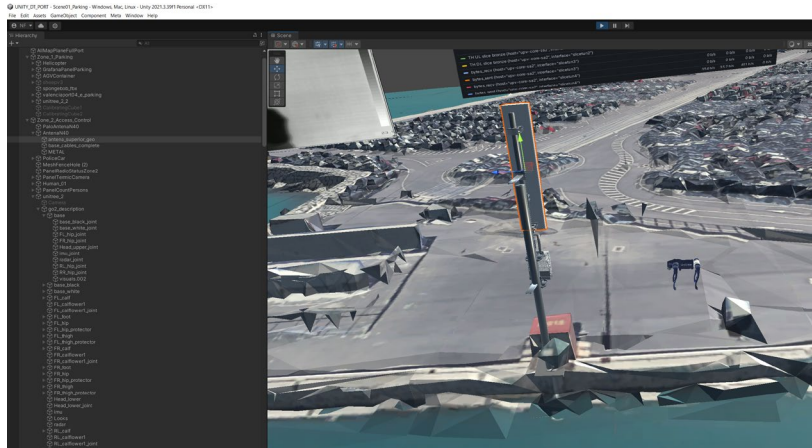
Ejemplo de aplicación “Barrera virtual” en zona del Puerto de Valencia:



Escena de coches aparcados en parquin del Puerto de Valencia:



Escena en zona portuaria con monitorización de Antena 5G y cuadrúpedo:

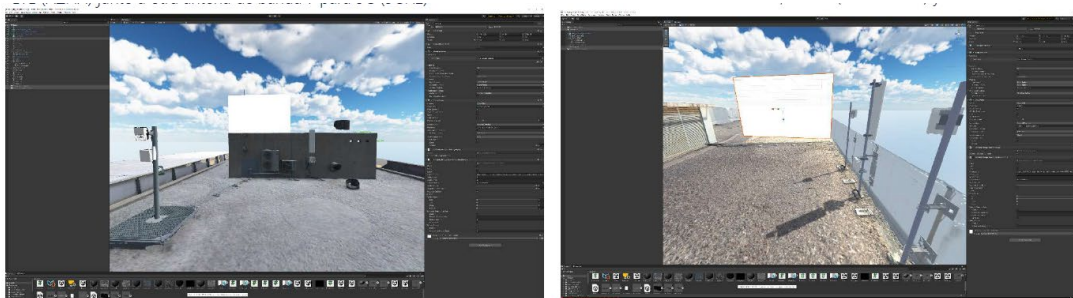


### 4.2.3. P4.1 - Creación del laboratorio y piloto de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

En este entregable se describe cómo se pone en marcha el gemelo digital, así como la obtención de los datos del entorno real con un interfaz “Network as Code”, cómo se realiza la inserción en la aplicación del gemelo de distintas fuentes de vídeo: videos locales, videos MP4 en progressive streaming y fuentes de vídeo HLS en adaptive streaming.

También se introduce a la presentación de información de paneles con KPIs de los sensores desplegados, y finalmente cómo se usan los controladores para moverse en el gemelo digital.

En la siguiente figura se muestra el diseño de las escenas en las dos terrazas, en las que se ven diferentes modelos de antenas:



Antena AZNA

Table 3. TX key specifications		Table 9. RX key specifications	
Item	Performance, Characteristics, Application method, etc.	Item	Performance, Characteristics, Application method, etc.
Transmit frequency	2300 - 2400MHz	Receive frequency	2300 - 2400MHz
Frequency error	Less than $\pm 0.02\text{ppm}$ for FRM ( $\pm 0.05\text{ppm}$ for whole system)	Input reflection	$< -14\text{ dB}$ (50 Ohm)
ISW	100MHz	Carrier configurations	T0-4 TE
OSW	30MHz	Sensitivity without diversity	$-104.7\text{ dBm}$ (LTE), according to 3.5dB noise figure
Carrier configurations	1 TE	Typical	$-106.1\text{ dBm}$ (LTE)
Maximum output power per site	40W	RX power measurement accuracy	$\pm 2.0\text{ dB}$ absolute, $\pm 0.5\text{ dB}$ relative over 9 dB level (range after calibration)
Minimum output power per site	4W	Non-destructive input level	$+13\text{ dBm}$
Output power tolerance	NOKIA requirement is $\pm 0.8\text{ dB}$ (Nominal temp) and $\pm 2.0\text{ dB}$ (Extreme temp) with maximum status RF power over whole band		

Antena AHHA

3GPP Band	Band 7 UL: 2500 – 2570 MHz / DL: 2620 – 2690 MHz
RF output power	Up to 4x5W per TX path (0.5 dB steps down to 50mW)
Bandwidth	IBW: 70MHz; OBW: 70MHz
Capacity	4G BW: 5,10,15,20MHz 5G BW: 20MHz! (Up to total 4 carriers per radio)

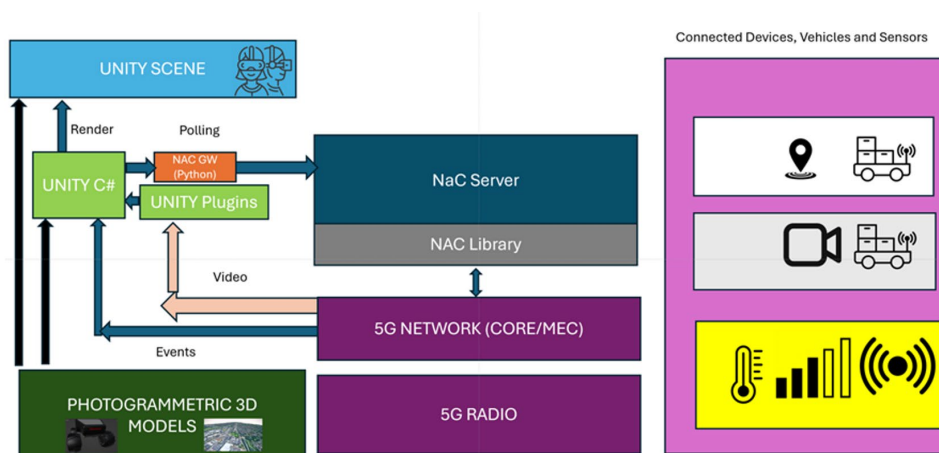
En esta otra escena se muestran los diferentes módulos del Rack 5G del despliegue de radio:



#### 4.2.4.P4.2 - Finalización del laboratorio y los pilotos de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0

Esta actividad integra y valida el prototipo P3.3 en el laboratorio de gemelos digitales de la UPV y en los pilotos en el entorno industrial. Las medidas de KPIs sobre la red 5G avanzada permiten optimizar la configuración de todo el sistema.

La arquitectura de alto nivel de la aplicación es la siguiente:

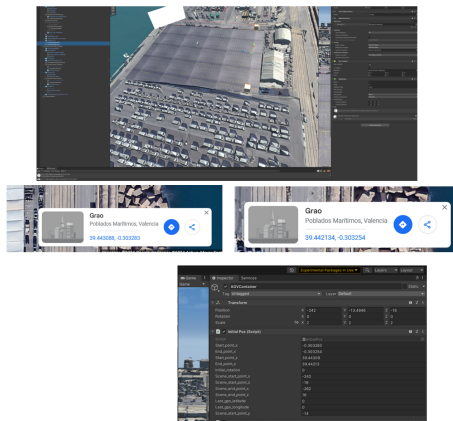


En la siguiente figura se presenta cómo calibrar en tres pasos los elementos móviles en el escenario industrial:

**Paso 1** : Se ubican dos cubos con physics en dos zonas que sean puntos representativos del área en la que nos vamos a mover. Se anotan las coordenada X y Z de la posición de dichos cubos.

**Paso 2** : Se ubica la misma posición en la que hemos colocado los anteriores cubos en la aplicación de Google Maps y se anotan las coordenadas GNSS de cada uno de ellos como su mapeo en el mundo real.

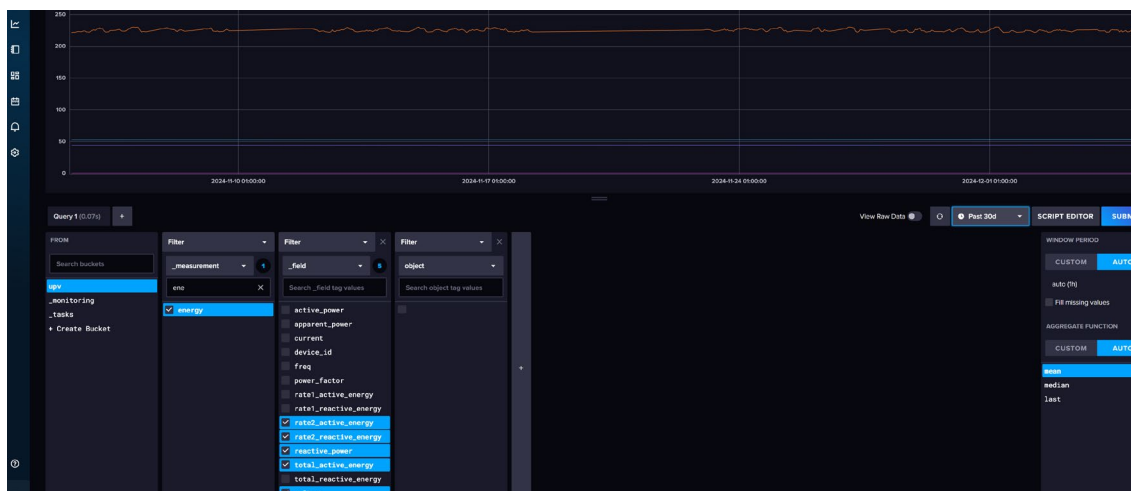
**Paso 3** : Se adjunta el script InitialPos al objeto AGV Container que será el utilizado como objeto virtual vacío en Unity para albergar a los objetos y los controladores. Se rellenan los valores de las coordenadas en la escena de Unity y sus ubicaciones reales.



## 4.2.5. VT4.1 - Piloto de validación de gemelos digitales en tiempo real en entornos industriales

Demostraciones piloto de casos de uso de gemelos digitales en tiempo real para Industria 4.0. Los resultados se documentarán en el entregable D4.3. Esta actividad es responsable de todo lo relacionado con el sistema de visualización de los gemelos digitales

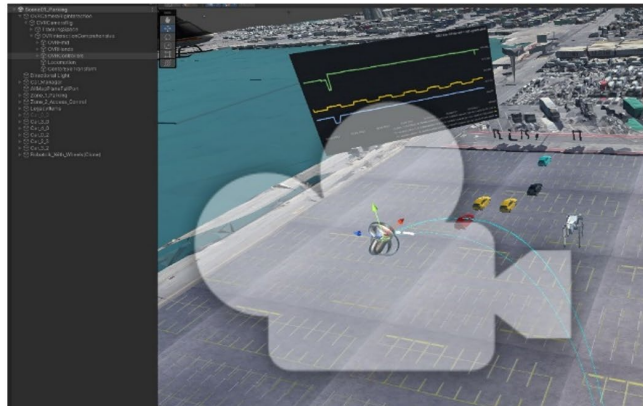
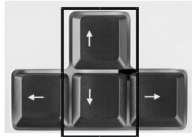
En la siguiente figura se puede monitorizar la evolución de los KPIs de los sensores de consumo de energía que se monitorizan en el gemelo:



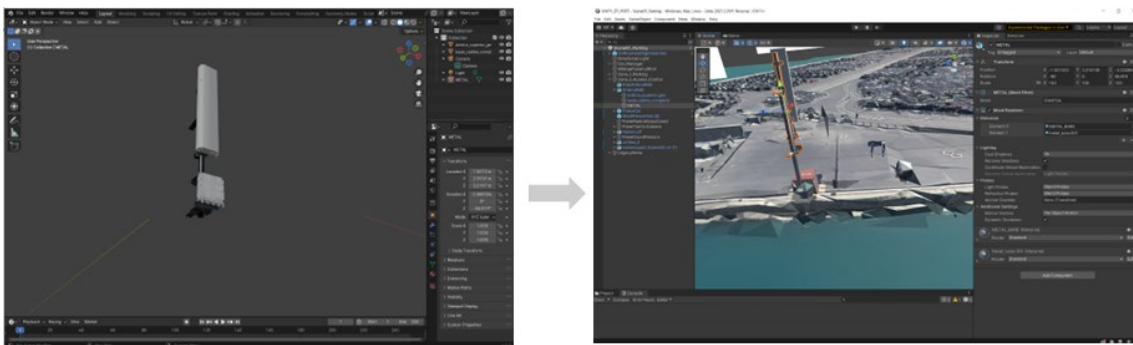
En la siguiente figura se presenta una captura del gemelo digital y cómo se puede controlar bien desde un teclado, o bien desde unos mandos interactivos:

Control por teclado – Movimiento en los 3 ejes

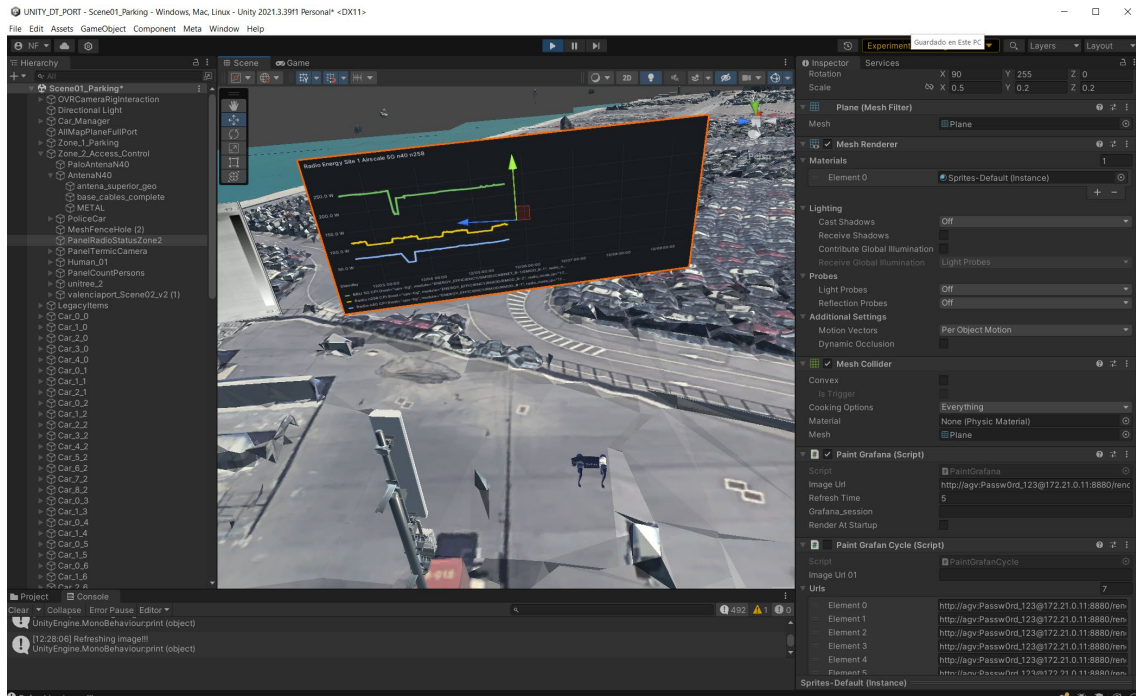
Control por controladores – XR Teleporting



En las siguientes figuras se muestra el modelo de una antena y cómo ha sido representada en su escenario del gemelo:



En la siguiente figura se muestra en el gemelo digital cómo se puede monitorizar en tiempo real el consumo de energía de una antena 5G desplegada en el puerto en el gemelo de industria:



## 5. CONCLUSIONES

Los gemelos digitales pueden ser vistos como grandes facilitadores que incorporan diversidad de tecnologías para componer un sistema más holístico de la realidad. Estos modelos van a incorporar los principales avances de investigación en las siguientes áreas:

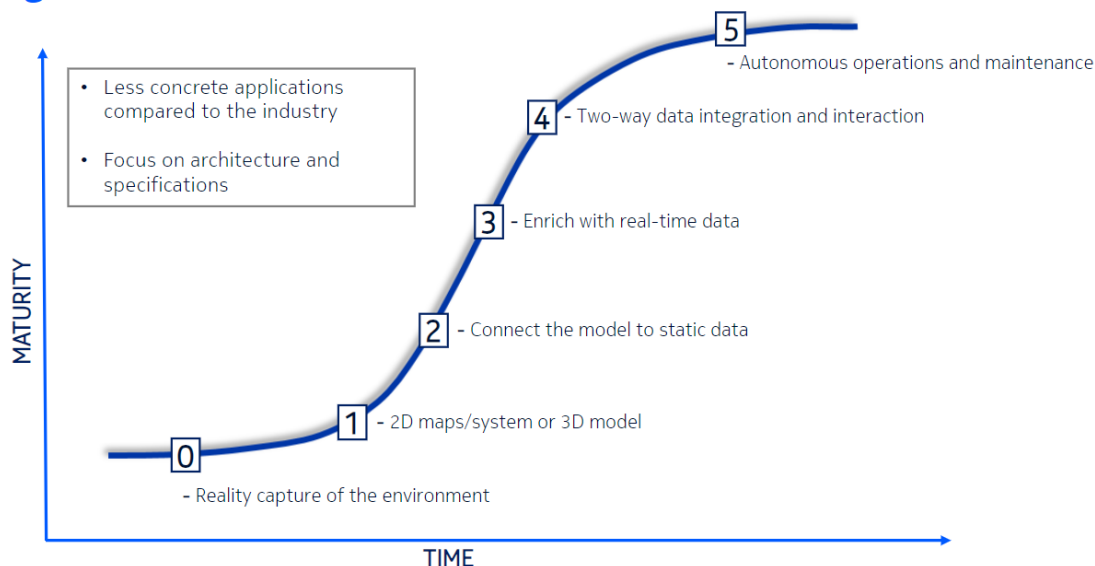
1. Las tecnologías relacionadas con los datos
2. Procesamiento más rápido, IA, Machine Learning, Big Data, computación en la nube...
3. Mejoras en el uso de IA y big data para satisfacer los requisitos de análisis de datos
4. Realismo físico y proyecciones futuras, algoritmos, mantenimiento predictivo...
5. Integración sencilla de sensores más económicos y potencia computacional
6. Implementaciones más económicas, simulaciones, visualización 3D...
7. Digital Twin Consortium, Azure Digital Twins, pruebas de concepto, aprendizaje continuo...
8. Comunicación en tiempo real y baja latencia, confiabilidad mejorada, bajo consumo de energía, interacción con activos físicos...
9. Conocimiento de la situación, reducción de la sobrecarga de información, apoyo a la toma de decisiones...

Haciendo uso de estos habilitadores tecnológicos vamos a conseguir mejoras drásticas en los siguientes ámbitos:

1. Monitorización y control remotos
2. Monitorización remoto de espacios, control de activos, detección más rápida de fallos y toma de decisiones
3. Mantenimiento predictivo
4. Predicción de mantenimientos, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la vida útil de los activos físicos
5. Mejora de la calidad del producto
6. Mejoras del producto mediante la simulación del impacto de los cambios de diseño propuestos utilizando datos recopilados de los productos que operan en el campo.
7. Tiempo de comercialización más rápido:
8. Las iteraciones y optimizaciones rápidas de los diseños de productos con Digital Twins son mucho más rápidas que probar físicamente cada prototipo
9. Costes reducidos
10. Reducción de los costos mediante la optimización de los procesos, la reducción del tiempo de inactividad y la mejora de la calidad del producto
11. Eficiencia operativa
12. Optimización de los procesos y reducción del tiempo de inactividad proporcionando datos en tiempo real sobre el rendimiento de los activos físicos
13. Mejora de la seguridad
14. Simulación de escenarios peligrosos en un entorno seguro, lo que permite la capacitación y la preparación para situaciones de emergencia

En general se espera una evolución de los gemelos digitales en varias fases, como muestra la siguiente Figura:

## Digital Twins in the academia



Botín-Sanabria, D.M.; Lozoya-Reyes, J.G.; Vargas-Maldonado, R.C.; Rodríguez-Hernández, K.L.; Ramírez-Mendoza, R.A.; Ramírez-Moreno, M.A.; Lozoya-Santos, J.J. Digital Twin for Urban Spaces: An Application. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Monterrey, Mexico, 3–5 November 2021.

El tema de los gemelos digitales ha cobrado relevancia en múltiples campos, y cuando se integra con tecnologías como la fotogrametría, Unity, y la comunicación asíncrona en un entorno móvil con vehículos guiados automáticamente (AGVs) e inteligencia artificial (IA), se abre un amplio espectro de posibilidades y desafíos.

Respecto a la fotogrametría se trata de una técnica de captura que utiliza imágenes fotográficas para medir y recrear espacios y objetos en 3D. Este método cobra importancia en la creación de gemelos digitales debido a su capacidad para reconstruir entornos con alta precisión y detalle. Utilizando cámaras de alta resolución y software especializado, se pueden generar modelos tridimensionales que replican fielmente las características del mundo real. Estas representaciones detalladas son esenciales para simular y analizar contextos reales en aplicaciones industriales, construcción, y planificación urbana. La fotogrametría permite, por ejemplo, mapear con precisión una infraestructura o terreno, generando un modelo 3D que puede ser utilizado para pruebas y simulaciones en Unity.

Unity es una plataforma de desarrollo muy eficiente para el manejo de entornos 3D y gemelos digitales. Su motor gráfico potente y flexible permite la integración de modelos fotogramétricos para la simulación de diversas condiciones y escenarios. Unity ofrece herramientas avanzadas para la implementación de física realista, iluminación y animación, lo que ayuda a crear simulaciones creíbles y útiles para la planificación y operación de AGVs. En escenarios industriales y logísticos, Unity puede utilizarse para previsualizar rutas de AGVs, detectar posibles inconvenientes y optimizar las trayectorias. Además, el soporte de extensiones y scripts de Unity facilita la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial, mejorando así las

capacidades de los gemelos digitales para adaptarse y aprender de entornos complejos y cambiantes.

Es importante el uso de comunicación asíncrona, ya que es crucial en sistemas donde la colaboración entre dispositivos y plataformas es fundamental, sin requerir interacción en tiempo real. En el contexto de comunicaciones móviles con AGVs, la comunicación asíncrona permite que los gemelos digitales reciban actualizaciones de datos y comandos de control sin interferir directamente en las operaciones en curso. Estas capacidades son esenciales para la gestión remota de AGVs, permitiendo monitorizar su estado, operaciones y el entorno a través del gemelo digital casi en tiempo real.

Finalmente, la inteligencia artificial amplifica las capacidades de los gemelos digitales, proporcionando análisis predictivo y capacidades de respuesta automatizadas. Algoritmos de aprendizaje automático pueden ser utilizados para interpretar datos del entorno capturados por los sensores del AGV, ajustando dinámicamente los modelos en Unity para reflejar condiciones actuales o futuras. Por ejemplo, AI puede predecir el desgaste de superficies o el volumen de tráfico, ajustando las operaciones del AGV para maximizar la eficiencia y seguridad.

Podemos concluir que a medida que estas tecnologías continúen evolucionando, se espera que su integración permita niveles aún mayores de automatización y optimización en múltiples sectores industriales, redefiniendo la forma en que interactuamos con el mundo físico a través del digital.