



## Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y validación de casos de uso (5GVEC)

Expediente: TSI-065100-2022-001

### E19. Especificación y diseño del sistema operación remota y ejecución de trayectorias

#### RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



Financia:



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU

Cofinancia:





## Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS PRINCIPALES .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>4.</b>	<b>PRINCIPALES CONCLUSIONES.....</b>	<b>3</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El entregable E19 se enmarca en el proyecto 5GVEC, cuyo propósito general es desarrollar y validar tecnologías basadas en 5G para habilitar el despliegue de vehículos conectados y autónomos. Este documento contribuye de forma crítica mediante la especificación y diseño de un sistema que permite operar remotamente dichos vehículos y ejecutar trayectorias de forma segura, aprovechando las capacidades de baja latencia y alta fiabilidad de las redes 5G.

El E19 se conecta directamente con otros entregables clave del proyecto: proporciona las bases técnicas que serán integradas en la plataforma de ejecución de trayectorias (E21), y sus especificaciones serán puestas a prueba en las fases de validación (E22). Asimismo, se apoya en la infraestructura 5G desarrollada en E10, consolidando así la interoperabilidad entre sistemas y tecnologías.

## 2. OBJETIVOS PRINCIPALES

El entregable cubre los siguientes objetivos:

- Definir y diseñar un sistema que permita la operación remota segura de vehículos autónomos mediante 5G.
- Desarrollar una plataforma para la gestión y ejecución de trayectorias que incluya monitoreo en tiempo real y control de vehículos.
- Integrar un sistema de visión avanzado que permita capturar y procesar datos del entorno del vehículo.
- Establecer protocolos de comunicación que aseguren la interoperabilidad y sincronización entre los distintos subsistemas involucrados.

## 3. RESUMEN EJECUTIVO

El entregable E19 desarrolla una solución integral para la operación remota de vehículos autónomos y la ejecución de trayectorias, haciendo uso de las capacidades de comunicación que ofrece la tecnología 5G. A partir de la definición de distintos casos de uso representativos, se diseñó una arquitectura modular compuesta por una plataforma de gestión de trayectorias (PGT), un sistema de visión embarcado y protocolos de comunicación que permiten la interoperabilidad entre vehículos, servidores y operadores remotos. La plataforma PGT incluye una interfaz gráfica intuitiva y mecanismos de control que permiten la monitorización y gestión de trayectorias en tiempo real, mientras que el sistema de visión proporciona datos del entorno capturados mediante cámaras avanzadas, procesados en tiempo real por unidades computacionales especializadas. Todo ello se integra mediante una estructura de mensajería basada en ROS 2 y JSON, que garantiza sincronización y escalabilidad. El enfoque adoptado prioriza la robustez, la usabilidad y la preparación para escenarios reales, constituyendo una base sólida para las fases de validación del proyecto.

## 4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

- Se definió un sistema completo para la operación remota de vehículos, sustentando en comunicaciones 5G, visión por computadora y control distribuido.
- Se estableció una plataforma capaz de gestionar trayectorias de forma eficiente, incluyendo interfaces intuitivas, flujos de trabajo claros y protocolos de seguridad.
- Se integraron tecnologías de percepción avanzada (cámaras, sensores y software de IA) para una monitorización en tiempo real del entorno del vehículo
- La especificación de los protocolos ROS2 y la estructuración de mensajes JSON aseguran una interoperabilidad efectiva, preparación para validaciones futuras y potencial de escalado a nuevos casos de uso.



**Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias  
basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y  
validación de casos de uso (5GVEC)**

Expediente: TSI-065100-2022-001

**E20. INSTALACIÓN DE EQUIPAMIENTO EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS  
RESUMEN EJECUTIVO**

**Consortio:**



**Financia:**



**Financiado por  
la Unión Europea**  
NextGenerationEU

**Cofinancia:**





## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJETIVOS PRINCIPALES.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....</b>	<b>3</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Este entregable detalla el proceso de selección, integración y validación del equipamiento tecnológico embarcado en los vehículos autónomos utilizados en el proyecto 5GVEC. Se centra en dotar al vehículo de las capacidades necesarias para ejecutar funciones de conducción autónoma en entornos reales, en colaboración con infraestructuras 5G.

El E20 constituye un elemento clave dentro del ecosistema del proyecto, ya que establece la base física y lógica sobre la cual se implementan los sistemas de percepción, comunicación, operación remota y ejecución de trayectorias tratados en otros entregables como E19 y E21. Su correcta ejecución es esencial para la validación en campo de las soluciones desarrolladas en el marco de 5GVEC.

## 2. OBJETIVOS PRINCIPALES

El entregable cubre los siguientes objetivos:

- Seleccionar, instalar y configurar el equipamiento requerido para la conducción autónoma segura de vehículos dentro del entorno 5GVEC.
- Integrar sensores, unidades de procesamiento y sistemas de comunicación que permitan percepción del entorno y conectividad V2X.
- Establecer una arquitectura embarcada que garantice interoperabilidad, modularidad y procesamiento en tiempo real.
- Asegurar que el vehículo autónomo esté listo para pruebas y validaciones en entornos reales

## 3. RESUMEN EJECUTIVO

El entregable E20 documenta el proceso de selección, integración y configuración del equipamiento embarcado en el vehículo autónomo desarrollado en el marco del proyecto 5GVEC. Con un enfoque centrado en la modularidad y la interoperabilidad, se estableció una arquitectura embarcada capaz de soportar funciones avanzadas de percepción, conectividad y procesamiento en tiempo real. El vehículo fue dotado de sensores como cámaras estereoscópicas, LiDAR y GPS de alta precisión, integrados con unidades de procesamiento basadas en plataformas NVIDIA y sistemas de comunicación compatibles con tecnologías C-V2X y 5G. La arquitectura física fue diseñada para garantizar una instalación segura y eficiente, incorporando adecuaciones eléctricas y mecánicas específicas. La integración de todos los componentes se realizó utilizando ROS 2 como middleware, lo que facilita la comunicación entre módulos y su interacción con plataformas externas de gestión. Esta solución constituye un paso esencial para habilitar la conducción autónoma en escenarios reales y sentar las bases técnicas para las pruebas y validaciones del proyecto.

## 4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

- El vehículo ha sido equipado con sensores y hardware de última generación, aptos para la ejecución de tareas de percepción y control autónomo.
- La arquitectura es modular, escalable y basada en estándares abiertos (ROS2), lo que permite su integración fluida con otros componentes del ecosistema 5GVEC.
- La conectividad V2X y 5G garantiza el soporte necesario para operación remota, ejecución de trayectorias y cooperación con infraestructuras inteligentes.
- El entregable sienta las bases materiales para la validación funcional del proyecto, permitiendo su despliegue en entornos reales y su conexión con plataformas remotas de gestión y control.



**Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias  
basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y  
validación de casos de uso (5GVEC)**

Expediente: TSI-065100-2022-001

**E21. PLATAFORMA MONITORIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE TRAYECTORIAS  
RESUMEN EJECUTIVO**

**Consortio:**



**Financia:**



**Financiado por  
la Unión Europea**  
NextGenerationEU

**Cofinancia:**





## Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS PRINCIPALES .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>4.</b>	<b>PRINCIPALES CONCLUSIONES.....</b>	<b>3</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el resumen ejecutivo del entregable E21, ‘*Plataforma monitorización y ejecución de trayectorias*’, del proyecto 5GVEC, que tiene como objetivo desarrollar soluciones tecnológicas basadas en 5G para facilitar el despliegue de vehículos conectados y autónomos. Concretamente, este entregable se centra en la implementación de una plataforma que permite la monitorización en tiempo real y la ejecución remota de trayectorias vehiculares en entornos controlados, siendo crucial para validar casos de uso específicos del proyecto y optimizar las comunicaciones V2X (*Vehicle-to-Everything*).

Esta plataforma forma parte del ecosistema 5GVEC y está estrechamente relacionada con entregables previos como el diseño funcional del sistema (E19) y su integración global (E20), así como con futuros trabajos de validación (E22).

## 2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Los objetivos principales del entregable E21 son los siguientes:

- Desarrollar una plataforma integral para la monitorización y ejecución remota de trayectorias por parte de los vehículos autónomos.
- Implementar un sistema que permita gestionar, supervisar y monitorizar el estado de los vehículos autónomos y su interacción con los entornos controlados.
- Proporcionar herramientas para la creación, edición, planificación y ejecución de las trayectorias que realizarán los vehículos.
- Garantizar la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos y la seguridad de las operaciones mediante la utilización de un middleware (*MQTT* y *ROS2*) y mecanismos avanzados de autenticación y autorización (*Keycloak*).
- Establecer las bases tecnológicas necesarias para la futura validación en entornos reales prevista en el entregable E22.

## 3. RESUMEN EJECUTIVO

El entregable E21 describe una plataforma tecnológica desplegada sobre una infraestructura *cloud* privada mediante el uso de contenedores *Docker*. Este sistema permite gestionar el ciclo completo de las trayectorias de los vehículos autónomos y monitorizar su ejecución en tiempo real, utilizando interfaces gráficas y mecanismos de seguridad basados en autenticación y autorización mediante *Keycloak*.

La solución tecnológica está estructurada en los siguientes componentes principales:

- **Backend:** implementado con *Django REST Framework*, desplegado mediante *Gunicorn*. Gestiona operaciones *CRUD* sobre entidades clave (trayectorias, vehículos y notificaciones) y controla la comunicación con los vehículos.
- **Frontend:** desarrollado en *Angular* y desplegado con *NGINX*, permite a los usuarios la gestión de trayectorias mediante una interfaz gráfica.
- **Middleware (MQTT-ROS2):** actúa como intermediario, gestionando la traducción y sincronización entre el protocolo *MQTT* (sistema central) y *ROS2* (vehículos autónomos).
- **Base de datos PostgreSQL:** almacena toda la información operativa del sistema.

La autenticación y autorización de los usuarios se gestiona mediante *Keycloak*, permitiendo definir distintos roles (como administrador u operador) y aplicar políticas de acceso diferenciadas en la interfaz y en los servicios.

Durante el desarrollo se adoptó una arquitectura basada en microservicios y tecnologías ampliamente consolidadas como *Django*, *Angular*, *MQTT*, *ROS2* y *Docker*, lo que permite asegurar la escalabilidad, el mantenimiento y la interoperabilidad del sistema.

La plataforma incluye funcionalidades como la creación, edición, planificación y asignación de trayectorias a los vehículos, así como el seguimiento en tiempo real de su estado operativo. Además, incorpora una vista sobre mapa que permite monitorizar gráficamente las trayectorias activas y la posición actual de los vehículos. El sistema también almacena el historial de trayectorias y eventos, lo que proporciona una trazabilidad completa de todas las operaciones realizadas.

Por último, el sistema reacciona de forma dinámica a los eventos recibidos desde los vehículos a través del *middleware*. Esta capacidad permite que la información mostrada en la interfaz, como el estado o la posición del vehículo, se actualice automáticamente en tiempo real conforme a los mensajes entrantes.

## 4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El entregable E21 ha permitido realizar otro avance en el proyecto 5GVEC, ofreciendo una plataforma tecnológica eficiente y segura, capaz de gestionar trayectorias de los vehículos autónomos y monitorizar su ejecución en tiempo real en entornos controlados.

Entre los principales logros obtenidos destacan:

- La integración y despliegue de servicios clave (*frontend*, *backend*, *middleware* y base de datos) en una plataforma *cloud* escalable.
- El desarrollo de una interfaz gráfica que permite gestionar de forma remota los vehículos y las trayectorias.
- La puesta en marcha de un *middleware* que permite la interoperabilidad entre los protocolos *MQTT* (sistema central) y *ROS2* (vehículos autónomos) mediante traducción y sincronización semántica y temporal.

- La incorporación de un sistema de autenticación y autorización mediante *Keycloak* para el control de acceso y la gestión de usuarios.

Los resultados obtenidos en este entregable confirman la operatividad de la plataforma, validando su capacidad para gestionar trayectorias de los vehículos autónomos en tiempo real. El sistema está preparado para ser utilizado en las pruebas de validación definidas en el entregable E22, lo que permitirá evaluar su funcionamiento en escenarios reales y facilitar futuros desarrollos en el ámbito del vehículo conectado y autónomo.



## Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y validación de casos de uso (5GVEC)

Expediente: TSI-065100-2022-001

### E22. Pruebas de Validación Sistema Monitorización y Ejecución de Trayectorias

#### RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



ERICSSON



TINYMICA



Financia:



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU

Cofinancia:





## Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS PRINCIPALES .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>4.</b>	<b>PRINCIPALES CONCLUSIONES .....</b>	<b>3</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El entregable E22 recopila las pruebas de validación del sistema completo de monitorización y ejecución de trayectorias de un vehículo autónomo dentro del proyecto 5GVEC. El objetivo es verificar que la solución funciona de forma consistente cuando intervienen simultáneamente plataforma software, vehículo y comunicaciones, incluyendo, cuando aplica, la interacción con elementos V2X.

E22 se apoya directamente en los entregables previos: E19 (especificación y diseño del sistema operación remota y ejecución de trayectorias), E20 (instalación de equipamiento en vehículos autónomos) y E21 (plataforma monitorización y ejecución de trayectorias). En este sentido, E22 cierra el ciclo aportando evidencias de que el conjunto definido e implementado funciona de manera integrada bajo condiciones de prueba.

## 2. OBJETIVOS PRINCIPALES

El alcance de E22 se centra en validar el sistema desde un enfoque progresivo, combinando pruebas por bloques y validación extremo a extremo. En concreto, la campaña persigue:

- Confirmar el lanzamiento remoto de trayectorias y la correcta monitorización desde la plataforma.
- Verificar la coherencia de estados y telemetrías durante la ejecución.
- Demostrar la reproducibilidad de escenarios mediante reproducciones controladas (p. ej., con ficheros rosbag).
- Validar la interoperabilidad con componentes externos (p. ej., plataforma TUPL y recepción de eventos V2X) cuando se integran en el flujo de operación.

## 3. RESUMEN EJECUTIVO

El E22 consolida la campaña de validación describiendo cada prueba con una estructura homogénea (objetivo, base teórica, procedimiento, resultados y evidencias), y aplicando un enfoque progresivo: primero se validan bloques concretos (plataforma, middleware, comunicaciones y V2X) y después se verifica el funcionamiento integrado del sistema durante la ejecución de trayectorias.

La validación cubre, entre otras, pruebas de comunicaciones con una plataforma externa (TUPL) mediante el flujo *ROS*→*middleware*→*MQTT*, pruebas de comunicaciones de red en entorno de pruebas (incluyendo estabilidad de LAN y comportamiento ante pérdida/recuperación de conectividad), pruebas de comunicaciones V2X (recepción, decodificación y reenvío de eventos), pruebas de trayectoria en laboratorio mediante reproducción controlada con ficheros rosbag, pruebas en simulación con CARLA, y una validación integral con ejecución completa en pista.

En interoperabilidad, se comprueba que los datos publicados en el broker MQTT se distribuyen correctamente y pueden ser consumidos por terceros, validando que el sistema externo puede recibirlos y reenviarlos (caso TUPL). En V2X, se verifica que los eventos generados por el sistema de DEKRA se reciben en su broker, el middleware los procesa y los publica en el broker principal, y la plataforma los muestra al usuario (notificaciones y mapa), confirmando la integración del contexto V2X en el flujo de operación cuando aplica.

En ejecución de trayectorias, la campaña valida el flujo completo desde la operación en plataforma hasta la finalización: se comprueba la monitorización en tiempo real, la coherencia de estados y telemetrías, y la correcta finalización reflejada por la plataforma (p. ej., mediante estado “finished” y paso a “Completado”). Además, se registran rosbags durante las sesiones para permitir análisis posterior y soportar pruebas futuras en laboratorio (reproducción controlada y depuración), reduciendo dependencia de repetir siempre ensayos en pista.

## 4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El entregable concluye que la campaña de pruebas valida el sistema completo de monitorización y ejecución de trayectorias, aportando evidencias de operación integrada y confirmando los resultados clave obtenidos durante la validación

- Lanzamiento remoto de trayectorias: se demuestra que la plataforma permite elegir, lanzar y analizar trayectorias preestablecidas, y que además puede servir de “puente” para que otras aplicaciones usen la infraestructura siempre que se integren vía MQTT con el middleware.
- Monitorización y seguimiento: el usuario dispone de información suficiente en tiempo real e históricos, lo que habilita métricas y análisis posteriores, y reacción ante lo que ocurre durante la ejecución.
- Uso de rosbag para repetición controlada y depuración: se resalta como aspecto clave que los ficheros rosbag permiten reproducir con exactitud condiciones reales de ejecución, facilitando depuración del middleware y evolución de la plataforma con datos reales (no sintéticos).
- Intercomunicación mediante middleware: se valida la efectividad del middleware para traducir y comunicar agentes heterogéneos, aislando a los componentes de los detalles de implementación de las interfaces.
- Interoperabilidad con sistemas externos: se confirma que agentes externos pueden consumir datos en tiempo real sin construir un sistema completo, destacando el uso por parte de TUPL y TOPDIGITAL a partir de los datos publicados en el broker MQTT.

Como evidencia de la validación integrada, en la prueba extremo a extremo se considera el resultado satisfactorio: ejecución iniciada desde la plataforma, comunicaciones estables, monitorización en tiempo real y finalización reflejada correctamente (incluyendo el estado “Completado” y el resumen de ejecución).