



**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

**E5. ESTADO DEL ARTE DE OPTIMIZACIÓN DE REDES 5G
RESUMEN EJECUTIVO**

Consortio:



Financia:



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3.	RESUMEN EJECUTIVO	2
4.	PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	3

1. INTRODUCCIÓN

Este entregable pertenece al Paquete de Trabajo 2 “Infraestructuras 5G” y recoge un estudio del estado del arte de la latencia y de la segmentación de la red, incluyendo un análisis del organismo de estandarización 3GPP. Además, contiene una evaluación de las capacidades de las diferentes herramientas de simulación consideradas para el proyecto, así como el equipamiento de red necesario.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Los principales objetivos del entregable E5 del proyecto 5GVEC, centrado en el estudio y preparación de tecnologías para el despliegue de vehículos conectados, son los siguientes:

- Analizar el estado del arte en optimización de latencia y segmentación de red aplicadas a vehículos conectados.
- Realizar un estudio exhaustivo sobre tecnologías V2X (Vehicle-to-Everything) en organismos de estandarización.
- Evaluar herramientas de simulación y equipamiento disponible para pruebas en el proyecto 5GVEC.
- Identificar áreas clave para el desarrollo de algoritmos que mejoren la latencia y la eficiencia en la gestión de recursos.
- Orientar las próximas fases del proyecto mediante el análisis de capacidades y limitaciones de las herramientas y entornos de validación.

3. RESUMEN EJECUTIVO

El interés por el desarrollo de ciudades inteligentes (Smart Cities) y en concreto el despliegue de vehículos conectados ha crecido considerablemente en los últimos años. Para ello es fundamental que la red de comunicaciones móviles sea capaz de garantizar un servicio rápido y fiable. Aunque el estado actual de la red 5G ya permite muchos nuevos casos de uso con unos requisitos muy estrictos, es necesario que siga evolucionando para poder soportar aquellos casos de uso aún más demandantes.

Este documento se corresponde con el entregable E5 del proyecto 5GVEC, el cual recoge los avances del Paquete de Trabajo 2 relativos al estudio del estado del arte en cuanto a optimización de latencia y segmentación de la red, incluyendo un análisis exhaustivo de la tecnología del vehículo conectado en los organismos de estandarización. Se evalúan también diferentes herramientas de simulación, así como el equipamiento para realizar pruebas en este proyecto.



Se ofrece un análisis fundamental del estado actual de las tecnologías necesarias para el despliegue de vehículos conectados y prepara el terreno para el desarrollo futuro de soluciones tecnológicas en el ámbito de las redes 5G aplicadas a V2X (Vehicle-to-Everything). El análisis realizado ha permitido identificar las áreas clave en las que centrarse para el desarrollo de algoritmos que permitan alcanzar mejoras en la latencia y la gestión eficiente de recursos en la segmentación de red. Además, el análisis de las capacidades y limitaciones de las herramientas y del equipamiento disponible para la validación de los algoritmos en el ámbito de las comunicaciones vehiculares marca la dirección de las fases siguientes del proyecto.

A modo de resumen, en este entregable:

- Se estudia el **estado del arte de la optimización de latencia** en redes 5G incluyendo avances en el estándar 3GPP y en publicaciones científicas.
- Se analizan técnicas avanzadas para reducir la latencia extremo a extremo en comunicaciones vehiculares.
- Se presentan estudios previos sobre la **reducción de latencia** enfocadas en comunicaciones vehiculares.
- Se analiza la **segmentación de red** como elemento clave para gestionar servicios con diferentes requisitos y alta movilidad en el contexto del vehículo conectado.
- Se propone el uso de **IA y aprendizaje automático** para optimizar el diseño y la gestión dinámica de los segmentos de red.
- Se revisan estudios previos con estrategias basadas en IA aplicadas a la segmentación, tanto en general como en entornos vehiculares.
- Se expone el estado actual de la **estandarización V2X** en 3GPP:
- Se presentan y evalúan diferentes herramientas de simulación y equipamiento hardware para pruebas con red real para comunicaciones V2X.

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

En este entregable se ha proporcionado una base sólida sobre la que desarrollar el resto del proyecto mediante el análisis del estado del arte sobre la segmentación de red, la optimización de la latencia y la estandarización aplicada a las comunicaciones vehiculares.

Se ha demostrado cómo algunas técnicas como la configuración de la numerología 5G, el uso de mini-slots o la preasignación de recursos permiten reducir significativamente la latencia, fundamental para satisfacer los estrictos requisitos de los casos de uso de las aplicaciones vehiculares. Además, se establece la segmentación de red y el uso de la inteligencia artificial como herramientas fundamentales para permitir la coexistencia de servicios vehiculares de manera eficiente. Por lo tanto, una planificación cuidadosa de los recursos de la red y la optimización de la latencia y la segmentación son esenciales para el éxito de las comunicaciones vehiculares.

Mediante el análisis de la estandarización se ha establecido un marco técnico robusto sobre el que apoyarse para el desarrollo de soluciones V2X. Se han identificado los 5QI específicos de las comunicaciones vehiculares y los modelos de tráfico contemplados en la estandarización, así como los casos de uso de comunicaciones vehiculares y sus requisitos técnicos.

Por último, en el análisis de los trabajos enfocados en latencia y segmentación se ha observado cómo, para optimizar la latencia y lograr una gestión eficiente de los segmentos de red, los algoritmos basados en inteligencia artificial son una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia en la gestión de la red. Su capacidad para adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de la red los convierte en una solución prometedora en escenarios de alta movilidad.

Dado que en este proyecto se contempla el desarrollo de estos algoritmos, el estudio de las capacidades de las herramientas disponibles de simulación y prueba en entornos reales ha permitido identificar el potencial de cada uno de ellos y las limitaciones con las que cuentan en el ámbito de las comunicaciones V2X y el Network Slicing.



**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

**E6. ALGORITMOS PARA OPTIMIZACIÓN DE REDES 5G (DISEÑO E
IMPLEMENTACIÓN)
RESUMEN EJECUTIVO**

Consortio:



Financia:



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES.....	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	2
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	3

1. INTRODUCCIÓN

Este entregable pertenece a la actividad A2 (Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y validación de casos de uso (5GVEC)), del Paquete de Trabajo 2 (PT2) llevada a cabo por Ericsson en colaboración con la Universidad de Málaga.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Los principales objetivos del entregable E6 del proyecto 5GVEC son los siguientes:

- Adecuar el simulador para aumentar su precisión, aumentando la resolución temporal del mismo e incorporando mecanismos como la segmentación de red.
- Analizar el comportamiento de algoritmos basados en inteligencia artificial en entornos simulados.
- Estudiar la influencia de la eficiencia espectral y desarrollar estrategias para reducir la congestión y optimizar el uso de recursos.
- Realizar diversos análisis de sensibilidad.

3. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto trata del desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en 5G que permitan el despliegue del vehículo conectado. Para ello, es necesario optimizar las redes de comunicaciones 5G con el objetivo de maximizar su rendimiento y que pueda ofrecer un servicio con una latencia, fiabilidad y tasa de datos adecuados al caso de uso en cuestión.

Para poder optimizar una red de comunicaciones y encontrar la configuración que proporciona un rendimiento óptimo, es esencial analizar primero el impacto de los distintos parámetros que se pueden configurar en la misma. Una vez identificados los de mayor relevancia, se procederá al desarrollo de algoritmos de optimización enfocados en dichos parámetros.

Este documento recoge la descripción del proceso de adaptación de la herramienta de simulación seleccionada para la evaluación de los algoritmos que se desarrollarán en este proyecto, junto con un análisis de los diferentes posibles algoritmos y los resultados obtenidos del estudio de sensibilidad llevado a cabo por la Universidad de Málaga.

Además, se ha incluido un estudio del impacto del uso de recursos y la eficiencia espectral en la latencia y dos algoritmos de optimización de la red y del proceso para evaluar la misma. El documento también contiene el diseño y el análisis de resultados de otro estudio de sensibilidad llevados a cabo en la pista de coches conectados de Dekra, así como la descripción de las instalaciones físicas donde se han realizado dichas pruebas, la configuración de la red, el procedimiento seguido y pruebas gráficas de la ejecución del mismo.

A modo de resumen, las actividades llevadas a cabo y recogidas en este entregable son las siguientes:

- Adaptar los simuladores para representar con mayor precisión los escenarios analizados:
 - o Estudio de modelos teóricos de latencia.
 - o Incremento de la resolución temporal para mejorar la precisión.
 - o Inclusión de nuevos servicios y escenarios realistas.
 - o Implementación de la segmentación de red en el simulador.
- Evaluar algoritmos de aprendizaje automático (ML) analizando su rendimiento y utilidad.
- Analizar el impacto de la eficiencia espectral y la utilización de recursos sobre la latencia en redes 5G.
- Proponer dos optimizaciones para reducir la utilización de recursos, que impacta, a su vez, en la optimización de la latencia.:
- Realizar estudios de sensibilidad sobre el efecto de la repartición de recursos en el rendimiento y sobre el impacto de la configuración TDD (Time Division Duplexing).

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

En este entregable se ha proporcionado una base sólida sobre la que desarrollar el resto del proyecto mediante el análisis del estado del arte sobre la segmentación de red, la optimización de la latencia y la estandarización aplicada a las comunicaciones vehiculares.

Se establece la segmentación de red y el uso de la inteligencia artificial como herramientas fundamentales para permitir la coexistencia de servicios vehiculares de manera eficiente. Por lo tanto, una planificación cuidadosa de los recursos de la red y la optimización de la latencia y la segmentación son esenciales para el éxito de las comunicaciones vehiculares.

Mediante el análisis de la estandarización se ha establecido un marco técnico robusto sobre el que apoyarse para el desarrollo de soluciones V2X. Se han identificado los 5QI específicos de las comunicaciones vehiculares y los modelos de tráfico contemplados en la estandarización, así como los casos de uso de comunicaciones vehiculares y sus requisitos técnicos.

Por último, en el análisis de los trabajos enfocados en latencia y segmentación se ha observado cómo, para optimizar la latencia y lograr una gestión eficiente de los segmentos de red, los algoritmos basados en inteligencia artificial son una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia en la gestión de la red. Su capacidad para adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de la red los convierte en una solución prometedora en escenarios de alta movilidad.

Dado que en este proyecto se contempla el desarrollo de estos algoritmos, el estudio de las capacidades de las herramientas disponibles de simulación y prueba en entornos reales ha

permitted to identify the potential of each one of them and the limitations with which they count in the scope of V2X communications and Network Slicing.



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

E7. INFORME DE RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED

Consortio:



ERICSSON

TINYMICA



Financia:



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	3
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	4

1. INTRODUCCIÓN

Este entregable recoge el desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en redes 5G orientadas a habilitar el despliegue del vehículo conectado. El trabajo realizado integra algoritmos de optimización y metodologías innovadoras para mejorar la latencia haciendo uso de la segmentación de red (Network Slicing), contribuyendo de forma significativa a los objetivos globales del proyecto en el ámbito de las comunicaciones V2X (Vehicle to Everything). Se incluyen también la validación de dichas soluciones, tanto en entornos simulados como sobre la red 5G real, lo que ha derivado en varias publicaciones, y las pruebas en campo de dos algoritmos desarrollados para mejorar la eficiencia de la red, que han dado lugar a dos patentes, lo que permite cumplir con los objetivos de diseminación de resultados.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

El objetivo de esta actividad es adecuar la red de comunicaciones móviles 5G de la que se valdrá el proyecto a las necesidades específicas requeridas para poder desplegar casos de uso categorizados dentro del internet de las cosas crítico, y en particular para el vertical de vehículos conectados. En concreto, dicha labor de adecuación consistirá en la configuración y optimización de los parámetros de la red que permitan maximizar los indicadores de rendimiento que más influyen en la experiencia de usuario de este tipo de servicios. Entre los citados indicadores destaca la latencia de la red. Dentro de este contexto, será necesario llevar a cabo diferentes tareas que permitan alcanzar el objetivo global.

- Optimización de la latencia. El objetivo de esta tarea es encontrar la mejor estrategia de optimización de los parámetros que permiten minimizar la componente de latencia relacionada el acceso radio de la red, mediante técnicas de IA.
- Optimización de network slicing. Configuración óptima de los parámetros de segmentación de la red 5G que permitan garantizar la calidad de servicio y experiencia de usuario necesarios para dar servicio al vertical de vehículos conectados sin reservar más recursos de los necesarios, de forma que puedan ser usados por los usuarios de otros servicios ofrecidos por la misma red de 5G. La optimización de dichos parámetros se realizará mediante técnicas basadas en IA.

En el marco de este entregable, ambas tareas se componen de las siguientes subtareas:

- Provisión de simulador.
- Diseño e implementación de algoritmos e implementación de prototipos para la configuración y optimización de parámetros de acceso radio en redes de 5G con el objetivo de minimizar la latencia.
- Evaluación en simulador de los prototipos desarrollados.
- Pruebas de campo: Evaluación de los prototipos desarrollados en entornos de red reales.
- Protección de la propiedad intelectual.

- Difusión de los resultados de la investigación.

2.1. Actividades realizadas

A continuación, se detallan las principales actividades llevadas a cabo para alcanzar los objetivos del proyecto, abarcando desde el desarrollo de soluciones hasta su evaluación en entornos simulados y reales, así como las acciones de disseminación y protección de los resultados obtenidos.

1. Desarrollo de algoritmos, metodologías y herramientas para la optimización de la red de acceso radio 5G para la optimización de la latencia y la segmentación de la red con el objetivo de permitir el despliegue de las comunicaciones vehiculares.
2. Evaluar e informar sobre los resultados finales de dicha evaluación de los algoritmos y metodologías desarrollados en simuladores.
3. Realizar pruebas de campo, en entornos de red real, de los algoritmos y metodologías desarrollados.
4. Informar los resultados de pruebas en entornos reales de los algoritmos y metodologías desarrollados.
5. Disseminación mediante la publicación en conferencias y revistas, así como generación de patentes.

3. RESUMEN EJECUTIVO

Durante el transcurso de este proyecto se ha desarrollado un algoritmo basado en aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning o RL) que toma decisiones sobre la asignación dinámica de recursos a cada segmento de red (slice) con el objetivo de minimizar la latencia de los servicios de vehículo conectado sin comprometer el rendimiento de otros servicios como la banda ancha móvil mejorada. De esta manera, el sistema aprende a distribuir los recursos de forma óptima en función del estado de la red y los requisitos de los distintos servicios, al mismo tiempo que realiza un uso eficiente de los recursos. Dicho algoritmo ha sido evaluado en un simulador adaptado a los requisitos del proyecto y, paralelamente, se ha desarrollado una plataforma de pruebas sobre una red 5G real y definido una campaña de experimentos que permite la evaluación del algoritmo de RL en un entorno de red real. Además, se ha realizado una evaluación del algoritmo que recrea una situación de despliegue en la que el mecanismo propuesto realiza acciones para optimizar la asignación de recursos radio mientras que se adapta a diferentes niveles de carga.

Se han llevado a cabo pruebas de validación en campo de una metodología desarrollada para la sustitución de las trazas de usuarios por fuentes de datos más eficientes y de un algoritmo para la mitigación, de forma inteligente y automatizada, de la congestión mediante el desplazamiento de tráfico. Estas metodologías permitirán el uso de optimizadores dependientes de trazas cuando estas no están disponibles, lo que facilitará la optimización de la eficiencia espectral, y la reducción de la congestión en las celdas más cargadas, favoreciendo con ambas acciones la optimización de la latencia, principal objetivo perseguido.

Por último, dada la importancia de la planificación previa a la optimización de la red, se ha desarrollado una herramienta que permite la evaluación de la capacidad de la red y del network slicing para cursar un determinado crecimiento de tráfico cumpliendo con los requisitos de calidad necesarios.

3.1. Metodologías

Para lograr los objetivos establecidos, se aplicaron metodologías basadas en inteligencia artificial, que fueron evaluadas tanto en simuladores como en entornos de red real. Esto incluye análisis de datos, adaptación de simuladores a las necesidades del proyecto, diseño y realización de campañas de simulaciones avanzadas, evaluación de los algoritmos y creación de metodologías basadas en simuladores y pruebas de campo que permiten la obtención de resultados para analizar el comportamiento en una red real. Se trabajó estrechamente con la Universidad de Málaga para garantizar que las soluciones propuestas fueran prácticas y relevantes para los objetivos del proyecto.

El desarrollo de publicaciones y patentes han permitido cumplir también con los objetivos de disseminación de la investigación y de los resultados del proyecto.

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

Las principales conclusiones derivadas de las actividades desarrolladas en el proyecto, las cuales reflejan el alcance de los objetivos planteados y el potencial de aplicación práctica y transferencia tecnológica de los resultados obtenidos, son las siguientes:

- Los algoritmos y metodologías desarrollados permiten optimizar la latencia en servicios V2X mediante una gestión dinámica y eficiente de los recursos radio apoyada en network slicing, manteniendo el rendimiento de servicios concurrentes como la banda ancha móvil mejorada.
- El enfoque basado en aprendizaje por refuerzo (RL), entrenado inicialmente en un simulador adaptado y posteriormente reentrenado/ajustado con datos obtenidos en una plataforma 5G real, demuestra capacidad de adaptación a distintos estados de la red y niveles de carga, confirmando su aplicabilidad práctica.
- La validación en red real confirma que las decisiones automáticas de asignación de recursos pueden ejecutarse en condiciones operativas reales, replicando los comportamientos observados en simulación y mostrando robustez frente a variaciones de demanda.
- La metodología desarrollada para la sustitución de las trazas de usuarios por fuentes de datos más eficientes ha sido verificada en campo como alternativa eficiente a las trazas de usuario tradicionales, y el algoritmo automatizado de mitigación de congestión mediante desplazamiento de tráfico aporta una solución práctica para gestionar picos de carga sin intervención manual.

- La herramienta de planificación desarrollada facilita la evaluación previa de la capacidad de red y la viabilidad del network slicing para absorber crecimientos de tráfico respetando requisitos de calidad, siendo útil para dimensionado y decisiones de despliegue.
- Los trabajos han generado resultados con potencial de transferencia: contribuciones científicas aceptadas, dos artículos de revista en preparación y otras dos solicitudes de patentes relacionadas con las metodologías desarrolladas.

4.1. Presentación de resultados

A continuación, se presentan, de forma sintetizada, los principales resultados obtenidos durante el proyecto, destacando evidencias experimentales, métricas clave y su impacto operativo.

- Desarrollo y demostración de un algoritmo RL para asignación dinámica de recursos por slice, con el objetivo explícito de minimizar latencia V2X sin degradar eMBB.
- Generación de un conjunto de datos sintéticos mediante un simulador adaptado y de una campaña experimental en una plataforma 5G real para obtener datos análogos y reentrenar/adaptar el algoritmo.
- Evaluaciones que reproducen las condiciones reales de la red: el sistema aplica acciones de asignación radio adaptativas y mantiene el rendimiento bajo distintos perfiles de carga (validación en simulador y en red real).
- Validación en campo de la metodología CTR-less para sustituir trazas de usuario por fuentes de datos más eficientes, reduciendo la dependencia de mediciones costosas.
- Implementación y verificación de un mecanismo automatizado de mitigación de congestión por desplazamiento de tráfico, apto para operación autónoma en escenarios 5G.
- Herramienta de planificación de capacidad y slicing: permite evaluar si la red puede sostener aumentos de tráfico cumpliendo requisitos de calidad, apoyando decisiones de despliegue.
- Resultados de explotación y difusión: contribuciones científicas (congreso aceptado y artículos en preparación) y dos solicitudes de patente.