



# Marco de Trabajo para la Coordinación de Testbeds 5G: URLLC como Caso de Uso

Almudena Díaz Zayas, Delia Rico, Bruno García, Pedro Merino  
Departamento Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga  
Andalucía Tech, Málaga, España, 29071.  
adz@uma.es, delia@lcc.uma.es, bgarcía@lcc.uma.es, pedro@lcc.uma.es

**Resumen**—En este artículo se introduce un marco de trabajo para la coordinación de testbeds 5G. El marco permite ofrecer una interfaz de experimentación sobre la arquitectura de red 5G especificada por el 3GPP, la cual se basa en el uso de tecnologías de virtualización de funciones de red y en la separación de los planos de datos y de control. Para demostrar las funcionalidades que ofrece el marco de trabajo, se realiza un análisis previo de su uso en la ejecución de un experimento V2X.

**Palabras Clave**—Coordinación, testbeds, 5G, experimentación, URLLC.

## I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías NFV (Network Functions Virtualizations) y SDN (Software-Defined Networking) han influido de forma irreversible en la arquitectura de las redes 5G [1] [2]. Ambas proporcionan una mayor flexibilidad: mientras que NFV permite la transferencia de funciones de red tradicionalmente propietarias y de hardware específico a aplicaciones software que se ejecutan en plataformas comerciales [3], SDN separa el plano de control del plano de datos [4]. La arquitectura de los sistemas 5G estandarizada por el 3GPP (3rd Generation Partnership) [5] se basa en la aplicación de estas dos capacidades.

En este contexto, los testbeds 5G [6] tienen que reproducir esta arquitectura y gestionar la infraestructura física y la virtualizada, desacoplando el plano de control y el plano de usuario. Al mismo tiempo, los testbeds tienen que ofrecer funcionalidades de experimentación a los verticales que quieran probar sus aplicaciones y servicios sobre una red 5G. El hecho de ofrecer una interfaz de experimentación para verticales que no tienen conocimientos sobre redes implica proporcionar una interfaz usable que permita abstraer la complejidad de la configuración de los componentes que integran el testbed.

La interfaz de experimentación también tiene que administrar una gran cantidad de funciones con diferentes objetivos: monitorizar los recursos (para poder recopilar medidas durante la ejecución de los experimentos), evaluar si hay suficiente capacidad para ejecutar los experimen-

tos (con el fin de soportar la ejecución concurrente de experimentos), verificar el estado de los componentes y detectar errores durante la ejecución de los experimentos (y evitar, así, tiempos de espera innecesarios asociados a experimentos fallidos), automatizar la configuración y el control de cada uno de los componentes de la arquitectura (para mejorar la efectividad, confiabilidad y disponibilidad del banco de pruebas), programar los experimentos (y maximizar el uso del testbed), garantizar la seguridad (evitando el acceso no autorizado), etc.

Este artículo introduce un marco de trabajo para la coordinación de testbeds de experimentación que unifica el control y la gestión de los componentes físicos y virtuales de un testbed, a la vez que ofrece una interfaz de experimentación para verticales. Posteriormente, se presenta un análisis previo de un caso de uso URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) basado en un servicio de control remoto de vehículos autónomos en un entorno V2X (Vehicle-to-Everything). Este marco de trabajo ha sido diseñado en el contexto del proyecto europeo 5GENESIS, cuyo objetivo es la validación de KPIs (Key Performance Indicators) 5G.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La Sección 2 introduce el marco de trabajo para la coordinación de testbeds 5G. La Sección 3 presenta el caso de uso de URLLC como demostración. Finalmente, la Sección 4 resume las conclusiones.

## II. UN MARCO DE TRABAJO PARA LA COORDINACIÓN DE TESTBEDS 5G

Para describir las funcionalidades ofrecidas por el marco de trabajo de coordinación y su flujo de trabajo, abstraeremos la arquitectura de un testbed 5G en tres capas:

- **Capa de infraestructura física:** Esta capa comprende los componentes que manejan el tráfico de usuario, incluyendo el núcleo de red 5G, la NFVI (Network Functions Virtualization Infrastructure), la red de transporte, la plataforma de edge computing, los elementos de acceso radio y los terminales de

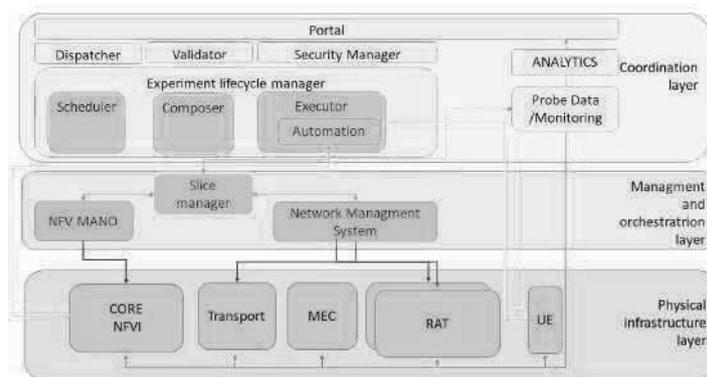


Fig. 1. Arquitectura de la marco de trabajo de coordinación

usuario. Todos los elementos de esta capa son específicos de cada plataforma.

- **Capa de gestión y orquestación:** Esta capa incluye la funcionalidad relacionada con la virtualización (gestión de los slices de red y de los recursos virtualizados), así como funcionalidades tradicionales de gestión de red para controlar las PNFs (Physical Network Functions) y otros elementos de red. Esta capa interactúa tanto con la capa de coordinación como con la capa de infraestructura, permitiendo el mapeo de los experimentos en la infraestructura física y asegurando la correcta gestión de los recursos implicados en este mapeo.
- **Capa de coordinación:** Esta capa es responsable de la coordinación general de la plataforma, proporcionando una supervisión global de la misma y su configuración extremo a extremo para el despliegue del servicio bajo prueba (con su posterior gestión y monitorización).

La Figura 1 muestra la arquitectura del marco de trabajo de coordinación y cómo éste interactúa con el resto de componentes y capas del testbed. El Portal ofrece una serie de menús que guían al experimentador en la definición, configuración y ejecución del experimento. Una vez que el experimento ha sido definido, su ciclo de vida se compone de 5 etapas: comprobación de los recursos disponibles, configuración de los recursos, ejecución y monitorización del experimento, computación de los KPIs y finalización.

El componente "Experiment Lifecycle Manager" (ELCM) supervisará el experimento a lo largo de estas etapas. Con la información proporcionada por el experimentador en el Portal, se compone un descriptor de experimento que contiene la información sobre el servicio/aplicación bajo prueba, las condiciones de red, las configuraciones de los slices, las VNFs que componen el servicio, los KPIs que se quieren validar y los dispositivos de usuario que se van a utilizar en el experimento. El descriptor de experimento contiene toda la información necesaria para ejecutar un experimento y tiene un formato común a todas las plataformas que integran el marco de trabajo de coordinación propuesto en este artículo. La versión inicial del descriptor puede ser consultada en [7].

El descriptor de experimento es traducido por el ELCM a un plan de experimentación específico para cada plataforma. Dicho plan de experimentación está basado en una serie de plantillas que contienen los parámetros de configuración y los comandos de control de los componentes del testbed. Con la información del descriptor se completan las plantillas. El plan de experimentación es un script ejecutable editado en TAP [8]. Por tanto, una vez que el plan de experimentación está disponible, se puede iniciar la ejecución del experimento.

El Slice Manager recibe la información para la configuración del slice y se comunica con el NFV MANO (Network Functions Virtualization Management and Orchestration) para desplegar el slice en la infraestructura virtualizada. Por otra parte, el Slice Manager se comunica con el Network Management System (NMS) para configurar los componentes físicos de la red de transporte, como los routers SDN. Una vez que el slice ha sido desplegado y la infraestructura física está configurada con los parámetros definidos en el descriptor de experimento, el ELCM ejecutará el cuerpo del test, actuando directamente sobre los servicios/aplicaciones y los terminales de usuario (UEs). Simultáneamente, recopilará los resultados y trazas proporcionados por las herramientas de medidas y los componentes del testbed. Los resultados obtenidos serán post-procesados en el módulo Analytics para el cálculo de los KPIs. Los primeros resultados obtenidos se pueden visualizar en [9].

### III. CASO DE USO URLLC

#### A. Introducción a URLLC

Las comunicaciones ultra fiables de baja latencia (URLLC) [10] representan uno de los principales escenarios del 5G, junto con enhanced Mobile Broadband y massive Machine Type Communications. En muchos casos, los escenarios URLLC requieren de una fiabilidad del 99,999% libre de errores y de una latencia extremo-a-extremo del orden de unos pocos milisegundos (~1ms) [11]. De hecho, sus aplicaciones normalmente son tan críticas para la vida de las personas como los propios requisitos (p.e. Internet Táctil, cirugía remota, control remoto de vehículos autónomos, etc.) y se esperan, de

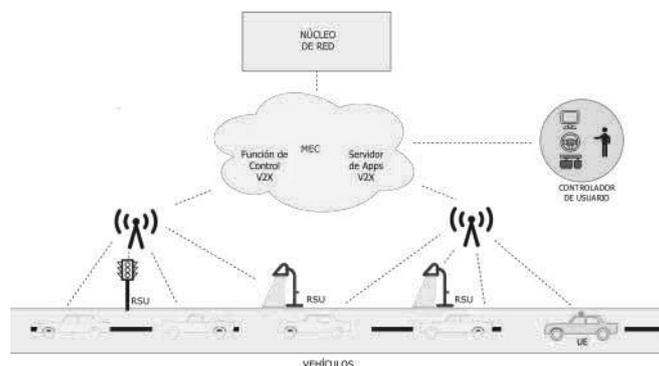


Fig. 2. Escenario del Caso de Uso eV2X.

manera adicional, altas tasas de datos. Estas necesidades exigentes requieren de un alto nivel de testing, situando a URLLC como un caso de uso apropiado para mostrar la coordinación completa del ciclo de vida de un sistema bajo prueba en el marco de trabajo.

El caso de uso seleccionado es Intelligent Transport Systems [12]. Como el estándar de NR-V2X 3GPP Release 16 está todavía en progreso, el experimento está basado en el último escenario vehicular 3GPP eV2X (enhanced vehicle-to-everything) [13] y en definiciones previas de C-V2X [14] para ser consistentes con la nomenclatura de las tecnologías existentes. Sin embargo, usando descriptores adecuados, el marco de coordinación podría soportar también la evaluación de los próximos estándares.

### B. Comunicaciones V2X bajo pruebas

El sistema bajo prueba consiste en un entorno eV2X constituido por vehículos autónomos y vehículos controlados en remoto, así como diferentes fuentes de información RoadSide Unit (RSU), conectados bajo la red celular para conformar un entorno vehicular [14] (ver Figura 2). Siguiendo el estándar 3GPP Cellular V2X, los componentes claves de un sistema V2X son la Función de Control V2X (V2X-CF) y el Servidor de Aplicaciones V2X (V2X-AS) [15]. El primero es la función lógica que se encarga de realizar acciones de control en la red, como proveer al UE con los parámetros necesarios para usar comunicaciones V2X [15]. El segundo es la entidad que se comunica con las aplicaciones V2X de los UE y los RSU y se encarga de la transmisión de datos. V2X-AS provee la infraestructura necesaria para soportar aplicaciones de verticales, implementar servicios V2X y manejar el intercambio de esos mensajes V2X.

Los vehículos autónomos y los RSU implementarían una variedad de aplicaciones, tanto aplicaciones de seguridad [16] para compartir información continua de la carretera (Forward Collision Warning, Control Loss Warning, Wrong Way Driving Warning, etc.) como aplicaciones de control remoto en vehículos y controladores de usuario. La definición de las capas altas y los mensajes específicos V2X está fuera del alcance de 3GPP y debería ser adaptada y reusada de otros estándares (SAE J3161 [17], SAE J2735 [18], IEEE 1609.2 [19], etc.). Tanto las advertencias como

la información de control remoto son datos críticos y la red debería priorizarlos.

1) *Definición del experimento:* Para reducir la latencia al mínimo, V2X-CF y V2X-AS se desplegarán en VNFs tan cerca de los UE como sea posible. En concreto, el lugar óptimo para conseguir los requisitos de computación cerca de los dispositivos en una red 5G sería en el Edge (MEC). Las imágenes VNF y los descriptores VNF (VNFD) de las entidades se subirán a través del Portal, el cual ofrece la posibilidad de indicar el punto de despliegue de los VNFs (en este ejemplo, Edge o Data Network). El Portal suministrará una plantilla de NSD (Network Service Description) con la topología de la infraestructura que el vertical editaría para interconectar los VNFs a lo interfaces correspondientes.

El siguiente paso es la selección del slice, en este caso el Portal proporciona una lista predefinida de slices: eMBB, URLLC y mMTC. El slice de URLLC dispondría de grant-free instant uplink, short transmission time interval, fast processing, etc. [20] además de políticas para asignar mayores cantidades de recursos cuando se necesite alta fiabilidad y throughput. El Network Slice Template (NST) de URLLC se actualizará con la información de los componentes NFV que necesiten ser instanciados para configurar el Network Slice Instance (NSI).

El Portal también ofrece una lista de escenarios predefinidos, permitiendo la reproducción de las condiciones de red bajo las cuales se ejecuta el test. Los escenarios ofrecidos inicialmente están basados en los escenarios definidos en los ensayos de redes pre-comerciales 5G de NGMN [21]. Para este experimento se selecciona el escenario Urban Dense Vehicular, caso no ideal de baja velocidad al aire libre con altas cargas de tráfico, densidad de usuarios y concentración de edificios. A la hora de elegir escenario, el número de UEs disponibles se muestra con una breve descripción para que sean seleccionados por el vertical. En este caso, el UE está a bordo de un vehículo conectado ubicado en una pista de prueba.

Finalmente, el vertical elegiría de una lista el caso de prueba a ejecutar. En el contexto del marco de coordinación introducido en este artículo, el caso de prueba define el KPI objetivo, el procedimiento y las medidas que deben ser recogidas a fin de validar el KPI. En principio, la especificación de los casos de prueba recae en 5Genesis,

pero el marco de coordinación puede ser actualizado con nuevos casos de pruebas pertenecientes a otros cuerpos de estandarización. En el caso de las comunicaciones V2X, los casos de pruebas están basados en la arquitectura V2X especificada en [15]. Para mayor claridad, el caso de prueba seleccionado en este ejemplo mide la duración desde la transmisión de paquetes en el UE y el controlador de usuario, hasta la recepción exitosa en la función de control V2X-CF conectada por la interfaz V3 y el servidor de aplicaciones V2X-AS conectado por la interfaz V1, y viceversa. Se pueden ejecutar de igual manera casos de prueba adicionales para medir, por ejemplo, el tiempo de recepción de mensajes de aplicación o la pérdida de paquetes, y calcular otros KPI como la fiabilidad.

Toda esta información será utilizada para componer el descriptor del experimento que será enviado al marco de coordinación. El marco de coordinación usará la información contenida en este descriptor para configurar la infraestructura, reproducir el escenario y configurar las sondas. Posteriormente, el NST se enviará al Slice Manager y una vez que se despliegue el slice, la capa de coordinación interactuará con el UE y el controlador de usuario para iniciar la comunicación con las entidades V2X-CF y V2C-AS.

La duración y número de repeticiones de los tests están especificados en los casos de pruebas. Después de cada repetición, la capa de coordinación recogerá las medidas para calcular el parámetro especificado, RTT medio en nuestro caso seleccionado. Las medidas se almacenan en la base de datos común disponible en la capa de coordinación y, tras ejecutar todas las iteraciones, el módulo de Análisis calculará los valores medios y proporcionará el valor final del KPI (latencia extremo-a-extremo).

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo, se propone un marco de trabajo para la coordinación de testbeds 5G para validar tecnologías 5G y KPIs. El marco expone las características de experimentación a los verticales y automatiza la ejecución de experimentos en una red 5G de extremo a extremo que incluye tecnologías como NFV y SDN y soporta slicing de red. Se presenta en detalle la arquitectura del marco, incluida la descripción de sus componentes, la interconexión con el resto de las capas del testbed y el flujo de trabajo del ciclo de vida de la experimentación cuando se ejecuta un experimento o varios experimentos al mismo tiempo. Finalmente, presentamos un caso de uso en el que el marco se utilizaría para ejecutar un experimento de URLLC y validar los KPI de URLLC. El ejemplo demuestra cómo el marco permite automatizar el servicio de red, ejecutar las aplicaciones, configurar la red, recopilar las mediciones y calcular los KPI.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado bajo los auspicios del Proyecto 5GENESIS. Este proyecto ha recibido financiación del programa European Union's Horizon 2020 research and innovation (grant agreement no. 815178). Este trabajo también está parcialmente financiado por el

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España (FPU grant AP2017-72875) y el proyecto EuWireless (H2020 grant agreement no. 777517).

#### REFERENCIAS

- [1] F. Z. Yousaf, M. Bredel, S. Schaller, and F. Schneider, "Nfv and sdn key technology enablers for 5g networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 11, pp. 2468–2478, Nov 2017.
- [2] M. S. Bonfim, K. L. Dias, and S. F. L. Fernandes, "Integrated nfv/sdn architectures: A systematic literature review," *ACM Comput. Surv.*, vol. 51, no. 6, pp. 114:1–114:39, Feb. 2019. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/3172866>
- [3] ETSI, *Network Operator Perspectives on NFV priorities for 5G*, February 2017, [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper\\_5G.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper_5G.pdf).
- [4] M. Boucadair and C. Jacquenet, "Software-defined networking: A perspective from within a service provider environment," *RFC*, vol. 7149, pp. 1–20, March 2014. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/rfc/rfc7100-7199.html>
- [5] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; system architecture for the 5g system; stage 2 (release 16)" 3GPP TS 23.501 v16.0.2, April 2019.
- [6] R. Verdone and A. Manzalini, *5G Experimental Facilities in Europe, NetWorld 2020 European Technology Platform, White Paper, Version 11.0*, 2016, <https://www.networld2020.eu/wp-content/uploads/2016/03/5G-experimentation-Whitepaper-v11.pdf>.
- [7] A. Díaz-Zayas et al., "Deliverable d2.3 initial planning of tests and experimentation," February 2019, <https://5genesis.eu/deliverables/>.
- [8] *OpenTAP: An Open Source Test Automation Project*, 2019, <http://opentap.io/>.
- [9] A. Díaz-Zayas et al., "Deliverable d6.1 trials and experimentation (cycle 1)," July 2019, <https://5genesis.eu/deliverables/>.
- [10] ITU-R, "Imt vision - framework and overall objectives of the future development of imt for 2020 and beyond," Recommendation ITU-R M.2083, September 2015, [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r-rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r-rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf).
- [11] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; study on scenarios and requirements for next generation access technologies; (release 14)," 3GPP TS 38.913 V14.3.0, June 2017.
- [12] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; service requirements for the 5g system; stage 1 (release 16)," 3GPP TS 22.261. V16.0.0, June 2017.
- [13] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; enhancement of 3gpp support for v2x scenarios; stage 1 (release 16)," 3GPP TS 22.186 V16.1.0, December 2018.
- [14] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; service requirements for v2x services; stage 1 (release 15)," 3GPP TS 22.185 V15.0.0, June 2018.
- [15] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; architecture enhancements for v2x services (release 16)," 3GPP TS 23.285 V16.0.0, March 2019.
- [16] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; study on lte support for vehicle to everything (v2x) services (release 14)," 3GPP TS 22.885. V14.0.0, December 2015.
- [17] S. International, "On-board system requirements for lte v2x v2v safety communications," SAE Standard J3161, January 2012, <https://www.sae.org/standards/content/j3161>.
- [18] S. International, "Dedicated short range communications (dsrc) message set dictionary," SAE Standard J2735, March 2016, [https://www.sae.org/standards/content/j2735\\_201603/](https://www.sae.org/standards/content/j2735_201603/).
- [19] I. S. Association, "Ieee standard for wireless access in vehicular environments—security services for applications and management messages," IEEE 1609.2, January 2016, [https://standards.ieee.org/standard/1609\\_2-2016.html](https://standards.ieee.org/standard/1609_2-2016.html).
- [20] M. Bennis, M. Debbah, and H. V. Poor, "Ultrareliable and low-latency wireless communication: Tail, risk, and scale," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, no. 10, pp. 1834–1853, Oct 2018.
- [21] N. Alliance, "Definition of the testing framework for the ngmn 5g pre-commercial networks trails v1," 0. Technical report, Tech. Rep., 2018.