

DESARROLLO DE UN ENTORNO DE APRENDIZAJE PARA COMUNICACIONES 4G-LTE

Pedro Castillejo ^{1*}, César Briso ² y Carlos Ramos ¹

1: Grupo de Innovación Educativa en Telemática
ETS Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: {pedro.castillejo, carlos.ramosn} @upm.es

web: <innovacion.educativa@upm.es>

<https://innovacioneducativa.upm.es/consulta-gies-2?grupo=172>

2: Grupo de innovación educativa en Sistemas de Telecomunicación

ETS Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: cesar.briso@upm.es web:

https://innovacioneducativa.upm.es/informacion_grupo?grupo=194

Resumen. Este proyecto de innovación educativa tiene como objetivo principal facilitar el estudio integral de las tecnologías relacionados con las redes de comunicaciones móviles de cuarta generación (LTE). Para ello se requiere que los alumnos dispongan de un prototipo de red de comunicaciones móviles que permita realizar prácticas basadas en retos donde los estudiantes de las áreas de Telemática y Sistemas de Telecomunicación puedan trabajar de forma colaborativa. De esta forma, utilizando herramientas software de libre distribución y elementos hardware asequibles, los alumnos dispondrán de una red completa (muy similar a las redes comerciales desplegadas por los operadores) sobre la que experimentar y afianzar los conocimientos adquiridos en la parte teórica de las asignaturas relacionadas.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Retos, Aprendizaje Colaborativo, coordinación docente vertical, elaboración material docente, FabLabs-Laboratorios Digitales, interdisciplinariedad/multidisciplinariedad, Trabajo en Equipo/Grupo, uso de las TIC

1. Introducción y objetivos

Las comunicaciones móviles de 4G y 5G constituyen un importante campo de desarrollo profesional para los ingenieros de Sistemas de Telecomunicación y Telemática. Sin embargo, la enseñanza práctica de estas tecnologías resulta compleja, pues requiere un enfoque multidisciplinar y el empleo de sofisticados y caros equipamientos que no siempre están disponibles. Por eso, tradicionalmente el estudio de las comunicaciones móviles se ha abordado de forma transversal, analizando por un lado la interfaz física y la capa de acceso al medio y por otro el nivel de red y de aplicación. Así, los ingenieros de Sistemas de Telecomunicación se enfocaban principalmente en el estudio de la capa física y enlace y los de Telemática en las de red y aplicación. Sin embargo, actualmente las redes 4G permiten el desarrollo de nuevas aplicaciones como las de Internet de las cosas o de transporte, que demandan que los ingenieros posean un conocimiento vertical del funcionamiento de la red móvil, desde la

interfaz física al nivel de aplicación. Por lo tanto, el nuevo enfoque docente debe ir encaminado a que los alumnos realicen un estudio integral de estas tecnologías y, para ello, es necesario que dispongan de un prototipo de red de comunicaciones móviles que permita realizar prácticas basadas en retos, donde los estudiantes de las áreas de Telemática y Sistemas de Telecomunicación puedan trabajar de forma colaborativa.

Para el desarrollo de esta nueva enseñanza integral de las comunicaciones móviles se propone el desarrollo de un prototipo de red LTE-4G basada en software libre OpenAirInterface [1] y empleando como *hardware* módulos de radio definida por software (SDR) de bajo coste. La red LTE desarrollada permitirá acceder a los subsistemas y servicios ofrecidos por este tipo de redes empleando terminales móviles comerciales con tarjetas SIM específicas y conexión a Internet. Esto permitirá el establecimiento de sesiones multimedia (por ejemplo, *Skype*), desarrollo de aplicaciones, pruebas de configuraciones específicas, etc. aportando un exhaustivo conocimiento de estas redes en un entorno de trabajo colaborativo.

Actualmente se dispone en la ETSIS de Telecomunicación de un prototipo de red LTE basado en esta tecnología y que ha sido realizado como resultado de la colaboración de los departamentos de Telemática y Electrónica (DTE) y de Teoría de la Señal (DIAC) en varias prácticas externas y trabajos fin de grado entre los que cabe destacar el trabajo “*Estudio y puesta en funcionamiento de un sistema de emulación para tecnologías móviles LTE*” [2]. En base al prototipo existente, se pretende desarrollar un entorno de enseñanza abierto que permita realizar tareas de pruebas, medidas, configuración, evaluación de rendimiento y prestaciones, así como de análisis de tráfico en diferentes interfaces de la red y el desarrollo de aplicaciones para comunicaciones móviles. Todos estos aspectos son difíciles de abordar, con fines didácticos, en entornos de red de operadores comerciales.

En este sentido, la red desplegada permitirá la realización de diferentes prácticas en la asignatura de Redes de Comunicaciones Móviles de la titulación de Grado en Ingeniería Telemática. En el momento actual, las prácticas realizadas se reducen al análisis de tráfico en la interfaz radio de redes 2G y 3G, limitando el estudio de otras interfaces y protocolos, así como de la tecnología LTE. Además, el equipamiento utilizado hasta el momento, basado en herramientas comerciales de monitorización y análisis, es costoso y dificulta la actualización o la adquisición de nuevos entornos.

Por el contrario, el equipamiento requerido para el despliegue del prototipo de red LTE es de bajo coste, está disponible en los departamentos mencionados y permitirá el estudio de conceptos relacionados con la arquitectura de red, así como de la estructura de protocolos utilizados en la interfaz radio y en el núcleo de red. La Figura 1 muestra un esquema con la arquitectura de red desplegada.

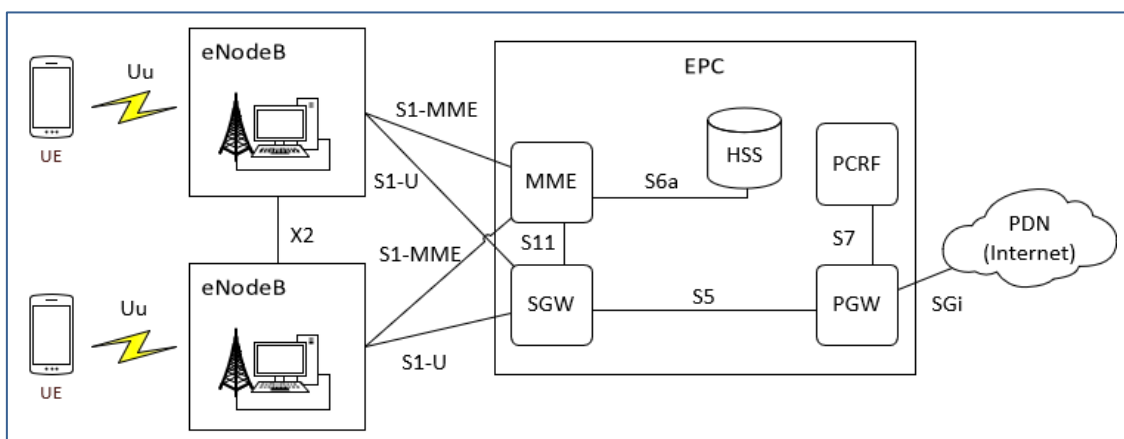


Figura 1. Arquitectura de red del entorno de aprendizaje desplegado.

El proyecto se enmarca en una línea de trabajo sobre el desarrollo de sistemas basados en radio definida por software que se viene manteniendo desde hace varios años entre el departamento de Telemática y Electrónica y el de Teoría de la Señal DIAC de la ETSIS de Telecomunicación. Esta línea ha culminado este último año en el desarrollo de un prototipo de red LTE que se pretende aplicar a la docencia en redes de comunicaciones 4G, tanto en los niveles de grado como en el de Máster. Este prototipo ha sido desarrollado en colaboración entre el Grupo de Innovación Educativa en Sistemas de Telecomunicación y el Grupo de Innovación Educativa en Telemática, aportando su experiencia y recursos para adaptar y aplicar a la docencia los prototipos desarrollados y los resultados obtenidos.

2. Desarrollo de la acción

Para la realización del presente proyecto de innovación educativa ha sido necesaria la participación de 7 profesores (miembros de los grupos de innovación nombrados anteriormente) y un colaborador externo, antiguo alumno de la ETSIS de Telecomunicación que actualmente es ingeniero de comunicaciones 4G y profesor Asociado de la Universidad Rey Juan Carlos. Además, se han contratado específicamente para el proyecto a dos becarios a tiempo parcial que han colaborado en el despliegue y configuración de la red.

Para la realización del proyecto se contemplaron tres fases, las cuales se presentan a continuación:

FASE 1. Preparación y optimización de la red LTE. En primer lugar, se adaptó el prototipo de red LTE existente para su aplicación en un laboratorio docente. Para ello se implementaron dos prototipos de red LTE idénticos (uno en el laboratorio de Sistemas de Telecomunicación y otro en el laboratorio de redes de Telemática) que se complementaron con programadores de tarjetas SIM para los terminales y con interfaces gráficas que permiten trabajar a varios alumnos simultáneamente. De igual forma, se optimizó el hardware experimental del sistema de radio para que fuese más robusto y fiable.

FASE 2. Desarrollo de los elementos del alumno. Esta es la fase principal del proyecto donde se ha desarrollado la metodología y los elementos hardware y software necesarios para que los alumnos trabajen con la red LTE. Se desarrollaron dos tipos de trabajos: por un lado, prácticas guiadas que permitan aprender las funcionalidades de la red en un entorno colaborativo, y, por otro lado, prácticas basadas en retos que fomenten la participación y la capacidad de innovación del alumno. Para la realización de las prácticas se partirá del empleo de terminales y módulos 4G de bajo coste que se equiparán con tarjetas SIM especiales programadas con la configuración de la red y con aplicaciones libres para pruebas, realización de video llamadas, transmisión de ficheros, medidas de red, etc. Estos dispositivos permitirán que los alumnos generen llamadas y realicen medidas de transmisión de datos, de forma que puedan analizar el tráfico generado, tanto en el nodo de la red como en el terminal. Para la evaluación y procesamiento de los resultados los alumnos emplearán herramientas como *MathLab* para la interfaz física y *Wireshark* para el plano de control y el análisis de tráfico, las cuales ya conocen de cursos y prácticas anteriores.

FASE 3. Desarrollo de nuevas funcionalidades. Otro punto a considerar es la interconexión de esta red LTE con la red de experimentación utilizada en otras asignaturas del Grado en Ingeniería Telemática, como Señalización y Conmutación y Redes y Servicios Avanzados. Esto permitirá complementar algunas de las prácticas de estas asignaturas, mediante la creación de *trunks* específicos entre ambas redes. De igual forma se podrán analizar los mecanismos de traspaso de la red y diferentes configuraciones y frecuencias de la interfaz física. Este último punto es de gran interés didáctico, ya que los alumnos serán capaces de trabajar con una red LTE experimental que se acerca mucho (a nivel de funcionalidades) a las redes comerciales desplegadas

actualmente por los operadores. De esta forma, los alumnos serán capaces de comprobar en un entorno de red real todos los conceptos aprendidos en las clases de teoría y que, de otra forma, serían mucho más difíciles de asimilar por su parte.

3. Seguimiento y evaluación

Para el seguimiento del proyecto se proponen tres hitos que correspondan con las tres fases del proyecto anteriormente presentadas:

Hito 1. Puesta en servicio de la red LTE y pruebas de funcionamiento. Evaluación de las capacidades didácticas de la red realizando prácticas a modo de demostración en las asignaturas seleccionadas. Realización de un video explicativo del funcionamiento de la red LTE y manuales de configuración.

Hito 2. Realización de los esquemas de prácticas y propuestas de diseños para los alumnos empleando terminales LTE y herramientas de análisis. Evaluación de los resultados de las prácticas en algunas de las asignaturas propuestas.

Hito 3. Pruebas de las nuevas funcionalidades y desarrollo de aplicaciones de usuario sobre las redes desplegadas.

Una vez se finalice el primer curso académico en el cual los alumnos comiencen a utilizar las nuevas redes, se realizará un informe final que incluya el grado de cumplimiento de los tres hitos, así como otros indicadores de rendimiento y resultados de aprendizaje. La Figura 2 muestra el aspecto de uno de los nodos 4G desplegados sobre un puesto de trabajo para los alumnos.



Figura 2. Aspecto del puesto de trabajo para los alumnos, con el nodo de red 4G en funcionamiento.

4. Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto de innovación educativa es el despliegue de un prototipo de red 4G-LTE basado en SDR (*Software Defined Radio*) de la casa ETTUS y OpenAirInterface para crear un escenario adecuado, el cual facilite la investigación y el aprendizaje de conceptos relacionados con esta tecnología y con las comunicaciones 4G. Para ello, se han implementado dos prototipos de red LTE (uno en cada laboratorio).

Cada prototipo requiere de dos ordenadores personales, un módulo de radio software y pequeño material como filtros y antenas. Para los alumnos se emplearán terminales 4G de bajo coste y ordenadores personales disponibles en los laboratorios. Todo el software de trabajo es de acceso libre, siendo el elemento principal la iniciativa OpenAirInterface. Las dos redes se han integrado en los laboratorios ya existentes de Sistemas de Telecomunicación y Telemática empleándose conjuntamente en ambos grados. También se han generado guías metodológicas para operar la red LTE y las herramientas software de medida y análisis de tráfico.

De esta forma, los alumnos dispondrán de dos despliegues de redes 4G-LTE muy similares a los despliegues reales de los operadores comerciales donde poder realizar prácticas en los distintos niveles de red que les ayuden a afianzar y profundizar en los conocimientos adquiridos durante la parte más teórica. Cabe reseñar en este aspecto la importancia, desde el punto de vista de didáctico, de la posibilidad que ofrecen estos despliegues para analizar tráfico en redes de comunicaciones móviles (tanto de señalización como de datos) para los alumnos, de una manera análoga a como se hace en los laboratorios de redes de área local.

El hecho de que los alumnos puedan utilizar sus propios terminales 4G (y no elementos de pruebas o emuladores) para conectarse a las redes desplegadas en el laboratorio es un elemento facilitador y motivador para la realización de las prácticas.

La intención de los grupos de innovación educativa involucrados en este proyecto es continuar con la ampliación de las redes desplegadas con el objetivo de añadir nuevas funcionalidades (por ejemplo, dos operadores simultáneos o capacidades de simulación de *roaming*).

Las redes desplegadas ya están sirviendo como base para proyectos fin de grado con la intención de realizar estas ampliaciones. Los alumnos de estos proyectos valoran muy positivamente disponer de una red tan completa donde poder realizar las pruebas y simulaciones para sus trabajos.

Referencias

- [1] Iniciativa de código abierto (*open source*) OpenAirInterface. Web del proyecto: <http://www.openairinterface.org/>.
- [2] Martínez García, D. Estudio y puesta en funcionamiento de un sistema de emulación para tecnologías móviles LTE. Proyecto Fin de Grado. ETSI Sistemas Telecomunicación, Junio 2018.