



Rendimiento de Redes 4G/5G usando una estación base real

Félix Delgado-Ferro, Jorge Navarro-Ortiz, Lorena Chinchilla-Romero, Pablo Muñoz-Luengo
Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones,

Universidad de Granada

C/ Periodista Daniel Saucedo Aranda, s/n. ETSI Informática y de Telecomunicación.

felixdelgado@correo.ugr.es, jorgenavarro@ugr.es, lorenachinchilla@ugr.es, pabloml@ugr.es

Este artículo describe el desarrollo del proyecto sobre el despliegue de red móvil 5G y análisis de características de la misma. Actualmente, se encuentra en desarrollo y trata del análisis del rendimiento y comparación en redes 4G y 5G empleando una estación base real. En este trabajo se incluye la información sobre el estudio previo de estas redes, las alternativas de implementación, el despliegue realizado empleando el software de Amarisoft y testeo de capacidades de las redes propuestas.

Palabras Clave – Redes móviles, 4G, 5G, estación base

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, y desde 2017, nos encontramos en pleno auge de la conocida como quinta generación de comunicaciones móviles (5G) que fue impulsada por la estandarización (*Release 15*) de 3GPP [1] que recoge las técnicas y mecanismos para obtener los requisitos definidos por la ITU para IMT-2020. Estos requisitos pretenden ofrecer mejoras en relación a tres tipos de servicios:

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB): pretende mejorar la capacidad de la red debido al incremento de la demanda producida por los usuarios. Es decir, se centra en mejorar las características ofrecidas por 4G para las comunicaciones entre usuarios.
- Massive Machine Type Communications (mMTC): pretende ofrecer comunicaciones eficientes, fiables y seguras para comunicaciones entre máquinas a gran escala.
- Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC): ofrece comunicaciones con requisitos estrictos respecto a latencia y fiabilidad para abrir el abanico de aplicaciones posibles (e.g. V2x).

En relación a estos avances, el trabajo propuesto consiste en el despliegue de tres tipos de redes para telefonía móvil como 4G, 5G NSA y 5G SA. Una vez se

hallan consolidado y probado la conectividad y funcionamiento, se realizarán una serie de pruebas en relación a la capacidad de transmisión que cada una de estas redes pueden ofrecernos empleando una estación base real.

II. ESTADO DEL ARTE

Hoy en día, tenemos múltiples soluciones para el despliegue y utilización de redes 4G y 5G en el ámbito de la investigación que nos permite configurar, modificar, simular y analizar redes móviles de forma realista. A continuación, se describen las plataformas más relevantes.

srsLTE [2] ofrece implementaciones de software modular y portable para tecnologías inalámbricas que se fundamentan en el software *Open-source srsRAN* que permite la implementación de los nodos de la red LTE (4G) por medio de los módulos srsLTE, srsUE y srsENB.

OpenAirInterface (OAI) [3] es una plataforma de código abierto que ofrece un entorno móvil flexible y de bajo coste para experimentación sobre redes 4G y 5G basándose en los estándares de 3GPP. Este compuesto por el software para desplegar la parte troncal de la red (CN) y la parte de acceso radio (RAN) por separado y con interconectividad entre ellas.

Free5gc [4] es una implementación open-source de las redes troncales 5G, tanto NSA (*non-stand alone*) como SA (*standalone*) siguiendo los estándares de 3GPP.

Amarisoft [5] es una empresa francesa que ha desarrollado soluciones asequibles y de alta calidad para el desarrollo de redes 4G/5G, proporcionando flexibilidad, disponibilidad y estabilidad mediante la implementación de módulos como: eNodeB, gNodeB, EPC, 5GC (5G Core) y UE Simulator.

En la figura 1, podemos ver los módulos desarrollados por Amarisoft para las implementaciones de las redes.

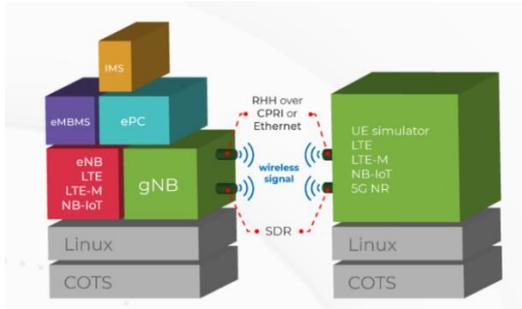


Fig. 1. Esquema de módulos de Amarisoft [5]

Al comprender la versatilidad y funcionamiento a grosso modo, se ha decidido emplear la plataforma de Amarisoft, en concreto la Serie AMARI NW [5], dado que esta es la solución más completa al ofrecer múltiples funcionalidades y configuraciones, siendo compatible con los estándares 3GPP.

Cabe destacar, que esta solución conlleva un coste económico superior al resto por tratarse de una plataforma comercial. Aún así, se ha optado por esta plataforma debido a disponer de estas estaciones base que son más fiables y teniendo como objetivo desarrollar un demostrador y un banco de pruebas (testbed) que fuese útil para futuros proyectos de investigación.

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. Redes LTE (4G)

Las redes móviles de cuarta generación (4G) han sido desplegadas empleando el estándar Long Term Evolution (LTE) del 3GPP. LTE es un estándar de comunicaciones móviles desarrollado en el Release 8 y mejorado en las siguientes revisiones hasta la Release 13.

La motivación de estas redes era simplificar las redes móviles y diferenciar las partes que las componen. Por tanto, el diseño de la arquitectura LTE pretendía optimizar el control del tráfico de datos y de los usuarios, optando por una arquitectura plana que minimizase el número de nodos implicados en la comunicación.

La arquitectura de red LTE, como apreciamos en la figura 2, se basa en tres componentes principalmente [6]:

- Evolved Packet Core (EPC): es un elemento fundamental dentro de la red e implementa el núcleo. La principal innovación consiste en emplear el protocolo IP para el transporte de todos los servicios. Además, otra diferencia relevante es que permite la separación de los planos de usuario (datos) y control (señalización). El EPC se compone principalmente de cuatro módulos:
 - Mobility Management Entity (MME): se encarga de la señalización de movilidad y seguridad de la red de acceso.
 - Home Subscriber Server (HSS): base de datos de la red y contiene la información del usuario y del control de movilidad.

- Serving Gateway (S-GW): se encarga de transportar el tráfico de datos IP entre redes y gestionar la movilidad interna y externa.
 - Packet Data Network Gateway (P-GW): es el nodo de interconexión y se encarga de enrutar los paquetes de datos y gestionar los permisos y políticas sobre estos paquetes.
- Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): es la red de acceso radio (RAN) y está compuesta por un conjunto de estaciones base (eNB) que pueden intercomunicarse entre sí para simplificar la señalización, el envío de mensajes y gestionar los recursos radio, la encriptación de paquetes, etcétera.
 - User Equipment (UE): son los equipos de los usuarios y les permiten conectarse a la red.

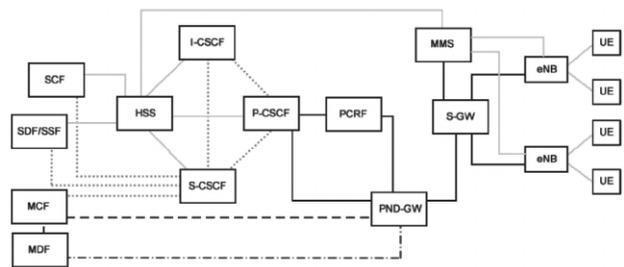


Fig. 2. Arquitectura de Red 4G [7]

B. Redes NR (5G)

Las especificaciones del núcleo de red 5G se encuentran en los estándares (Release 15 y 16) de 3GPP cuyo objetivo es dar cobertura a un abanico amplio de servicios y tecnologías como IoT, V2x, MTC, etcétera.

Las especificaciones principales recogen la integración de tecnologías como la virtualización de redes y network slicing y definen dos tipos de escenarios como se muestra en la figura 3:

- Non Standalone (NSA): integra dos generaciones de red de acceso (LTE y NR) conectadas a un mismo EPC. Ésta se compone de los eNB (nodos principales) y gNB (nodos secundarios) que comparten la gestión de tráfico de los usuarios, pero la gestión con el EPC la realiza únicamente el eNB.
- Stand Alone (SA): emplea la tecnología New Radio (NR) y se implementa en el Next Generation NodeB (gNB) y en el núcleo de la red (5GC). En este escenario, los nodos gNB que se encargan de las conexiones UE-5GC y de gestionar todo el tráfico.

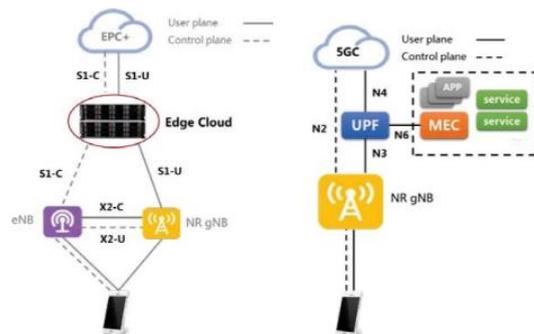


Fig. 3. Escenarios de despliegue de la red 5G (NSA y SA) [8]



La arquitectura de red 5G se divide en la parte de acceso radio (RAN) y el núcleo de la red (5GC).

La red de acceso radio se ve ampliada con el concepto de NFV y propone la segmentación de la red en Unidades Distribuidas (DU) empleando el interfaz normalizado *enhanced Common Public Radio* (eCPRI).

El núcleo de la red 5G permite procesar los datos de usuarios y gestionar la señalización de la red. El modelo 5GC consiste en una red integrada mediante interfaces punto a punto a una *Service Based Architecture* (SBA). El núcleo se establece mediante funciones como las que se muestran en la figura 4.

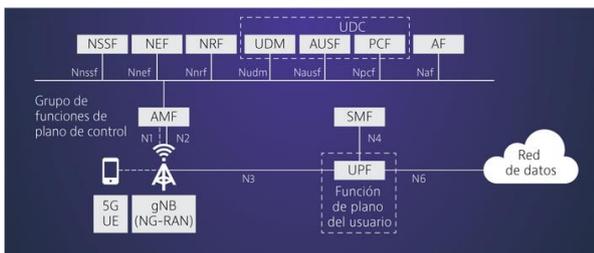


Fig. 4. Funciones de red elementales en una red 5G [9]

Las funciones fundamentales para el correcto funcionamiento del núcleo de la red 5G se exponen a continuación:

- **Access and Mobility Management Function (AMF):** se encarga del control general de la red e interacción radio RAN-UE (registro, autenticación y movilidad).
- **Session Management Function (SMF):** se encarga de la administración de las sesiones de los usuarios (establecimiento, modificación y liberación), así como de la asignación de IP a los dispositivos.
- **User Plane Function (UPF):** se encarga de procesar y reenviar el tráfico del plano de usuario (redirección y comunicación entre núcleo de red y red de datos). Además, realiza procedimientos de los datos reenviados como generar informes de tráfico, analizar el contenido de los paquetes de datos y ejecutar políticas.
- **Unified Data Management (UDM):** se encarga de gestionar la base de datos de los suscriptores móviles, las credenciales de autenticación y autorizar el acceso a la información disponible.
- **Authentication Server Function (AUSF):** es el proveedor del servicio de autenticación de los dispositivos.
- **NF Repository Function (NRF):** se encarga de registrar las funciones de la red realizadas por los servicios y que posibilitan las comunicaciones entre funciones.

IV. DESPLIEGUE DE LA RED 4G

La idea fundamental es partir de una red funcional 4G para posteriormente implementar la red 5G NSA y poder comparar características entre ellas. Posteriormente, se desplegará una red 5G SA de forma independiente.

Previo al despliegue, es decir, instalación del software Amarisoft, debemos preparar nuestro entorno de ejecución. En este proyecto se ha empleado un S.O de servidor Ubuntu 18 y se han preinstalado dos tarjetas PCIe SDR para la conectividad RAN. Posteriormente, se instala el software LTE 100 de Amarisoft.

En la configuración de los módulos, se tiene en cuenta la distribución de estos dependiendo de la parte de la red correspondiente. En el *Evolved Packet Core* (EPC) encontramos principalmente por dos módulos: MME e IMS, mientras que en la Radio Access Network (RAN) tenemos el módulo eNB.

Los módulos se pueden configurar por medio de parámetros, en las siguientes tablas [I][II] se exponen los parámetros más relevantes de cada uno de los nodos de la red.

Tabla I
PARÁMETROS DEL NODO IMS

Parámetro	Descripción	Valor
<i>sim_algo</i>	Algoritmos de autenticación	Milenage
<i>imsi</i>	IMSI de la tarjeta SIM	00101...01
<i>K</i>	Clave de acceso de la SIM	0011...FF
<i>sqn</i>	Secuencia de información	0000...00
<i>impi</i>	Indica al IMSI en la red	imsi@domain
<i>tel</i>	Número de teléfono	0600...01

Tabla I
PARÁMETROS DEL NODO ENB

Parámetro	Descripción	Valor
<i>dl_earfen</i>	Frecuencia de la portadora central para DL	3350 (2680 MHz – B7)
<i>TDD</i>	Modo de División Duplexación	0 (FDD)
<i>N_RB_DL</i>	Ancho de banda de transmisión	15 (3MHz)
<i>N_AN_DL</i>	Número de antenas en DL	1 (SISO)
<i>N_AN_UL</i>	Número de antenas en UL	1 (SISO)

V. PRUEBAS DE CONCEPTO

Una vez configurada e integrada correctamente, la red nos permite operar con ella. Las pruebas realizadas hasta el momento consisten en pruebas de conectividad y funcionalidad de la red 4G, siendo estas desarrolladas en la cámara anecoica, ubicada en el CITIC, de la Universidad de Granada.

Time	Diff	RAN	CN	IMS	UE ID	IMSI	Cell	Info	Message
7:30:51.003	+0.388	S1AP							Connected to 127.0.1.100:36412
-	-	S1AP							127.0.1.100:36412 S1 setup request
7:30:51.004	+0.001	S1AP							127.0.1.1:37564 S1 setup request
-	-	S1AP							127.0.1.1:37564 S1 setup response
7:30:51.005	+0.001	S1AP							127.0.1.100:36412 S1 setup response
7:31:46.699	+55.694	RRC			1		1	CCCH	RRC connection request
-	-	RRC			1		1	CCCH	RRC connection setup
7:31:46.760	+0.061	RRC			1		1	DCCH	RRC connection setup complete
-	-	NAS			1			EMM	Attach request
-	-	S1AP							127.0.1.100:36412 Initial UE message
-	-	S1AP			100	293280000000004			127.0.1.1:37564 Initial UE message
-	-	NAS			100	293280000000004		EMM	Attach request
-	-	NAS			100	293280000000004			EPS encryption caps=0x0 integrity caps=0x70
-	-	NAS			100	293280000000004			GUTI not found
-	-	NAS			100	293280000000004		EMM	Identify request
-	-	S1AP			100	293280000000004			127.0.1.1:37564 Downlink NAS transport

Fig. 5. Conexión y Autenticación del UE

Tras el primer despliegue con el software Amarisoft LTE 100 se debe comprobar que la conectividad entre los eNBs y los UEs se realiza correctamente. Para ello, debemos configurar el APN (*Access Point Name*) en el UE, lanzar la red 4G y esperar a que los dispositivos se conecten automáticamente. En este caso, podemos visualizar los mensajes enviados para la autenticación y conexión desde la interfaz web en la figura 5.

Además, se han realizado pruebas de las funcionalidades propias de la red 4G como el envío de mensajes SMS y llamadas empleando VoLTE entre los UEs. A su vez, se han tomado las primeras medidas de rendimiento de la red 4G empleando SISO.

En la figura 6, comprobamos una clara tendencia creciente respecto a la capacidad del enlace (DL y UL) cuando el ancho de banda de transmisión aumenta. Además, se aprecia la mejora considerable al emplear la red 5G NSA frente a la red 4G, al igual que ocurre con el uso de la transmisión empleando técnicas mimo 2x2 frente a SISO.

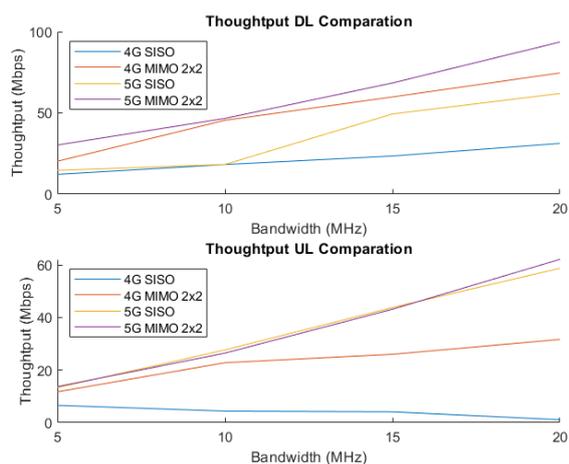


Fig. 6. Comparación de parámetros respecto ancho de banda

VI. CONCLUSIONES

Este trabajo presentaba una motivación personal y profesional debido al reto que supone el despliegue de múltiples redes y la diferenciación existente entre ellas y en la misma red empleando configuraciones diferentes.

Así, se realizó un estudio de las tecnologías disponibles para la posible implementación y se decidió optar por Amarisoft debido a las características que nos proveían. Posteriormente, se ha instalado y desplegado la red 4G que se encuentra en pleno funcionamiento y con la que se han realizado algunas de las pruebas iniciales de concepto.

VII. TRABAJOS FUTUROS

Actualmente, estamos en medio de la configuración de la estación base para el despliegue de la red 5G NSA y se pretende realizar una comparación de rendimiento respecto a la red 4G. Posteriormente, se pretende analizar la red 5G NSA mediante diferentes configuraciones para comprobar cual se adecua más a los servicios que pretende proporcionar (eMBB, mMTC, URLLC). Por último, se realizará un despliegue de la red 5G SA y se procederá de la misma manera que tenemos pensado para 5G NSA.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto H2020 5G-CLARITY (Grant No. 871428) y el Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto TEC2016-76795-C6-4-R).

REFERENCIAS

- [1] Official Page 3GPP. url: <https://www.3gpp.org/> (visitado 28-04-2021).
- [2] srsLTE: srsran/srsRAN. original-date: 2013-12-06T13:53:04Z. Mayo de 2021. url: <https://github.com/srsran/srsRAN> (visitado 21-05-2021).
- [3] OpenAirInterface – 5G software alliance for democratising wireless innovation. url: <https://openairinterface.org/> (visitado 21-05-2021).
- [4] Official Page free5GC. url: <https://www.free5gc.org/> (visitado 21-05-2021).
- [5] Official Page Amarisoft: Software company dedicated to 4G LTE and 5G NR. url: <https://www.amarisoft.com/> (visitado 21-05-2021).
- [6] Official Page 3GPP: The Evolved Packet Core. url: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core> (visitado 21-05-2021).
- [7] “Functional architecture for the implementation of Mobile IPTV over LTE and LTE-Avanced networks”, Diego F. Rueda & Zoila Ramos. December 2012 ITECKNE Innovación e Investigación en Ingeniería 9(2):40 – 51. DOI:10.15332/iteckne.v9i2.81
- [8] “5G Edge Cloud Networking and Case Analysis”, Lyu Huazhang, Zhang Zhonghao & Gao Shuai. October 2019. 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), pags. 617-621. DOI: 10.1109/ICCT46805.2019.8947289 ISSN: 2576-7828
- [9] Arquitectura de las redes 5G. Núcleo de red, redes RAN y arquitectura de seguridad para la tecnología 5G. Last Modified: 2021-03-19. Mayo de 2019. url: <https://www.viavisolutions.com/es-es/arquitectura-de-la-tecnologia-5g> (visitado 21-05-2021)