



GUI_srsRAN_5G: Software libre para la implementación de redes celulares 5G privadas y su uso en la enseñanza en instituciones educativas

Ángel Barrios Gutiérrez

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería,
Ciudad de México, México.

ORCID: 0009-0006-8931-5755

Mario Alberto Hernández Flores

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería,
Ciudad de México, México.

ORCID: 0000-0003-4726-8218

Víctor Rangel Licea

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería,
Ciudad de México, México.

ORCID: 0000-0003-3346-3565

Daniel Enrique Ceballos Herrera

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería,
Ciudad de México, México.

ORCID: 0000-0001-5539-712X

Ramón Gutierrez Castrejon

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería,
Ciudad de México, México.

ORCID: 0000-0002-0380-7745

Recepción: 28 de febrero de 2025.

Aceptación: 12 de junio de 2025.

Junio 2025 • número de revista 12 • DOI: 10.22201/dgtic. 26832968e.2025.12.73

GUI_srsRAN_5G: Software libre para la implementación de redes celulares 5G privadas y su uso en la enseñanza en instituciones educativas

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una interfaz gráfica de código abierto como un recurso de apoyo para que los usuarios del proyecto srsRAN, de SRS (*Software Radio Systems*), instalen, configuren y visualicen las métricas de desempeño de redes celulares 5G privadas, usando la tecnología SDR (*Software Defined Radio*) del fabricante Ettus Research (radios USRP). La contribución de este desarrollo de software reside en que posibilita un procedimiento más intuitivo y rápido, a través de un entorno más amigable, para lograr estos propósitos de la red celular 5G, frente al método tradicional de comandos por terminal en el SO Linux. Como parte del trabajo, se exploró el potencial didáctico del software con un grupo de estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, mediante su utilización en una práctica de laboratorio, logrando resultados de valoración positivos.

Palabras Clave: GUI, Software Libre, srsRAN, redes celulares 5G, radios definidos por software SDR, telecomunicaciones.

GUI_srsRAN_5G: Open-source software for the implementation of private 5G cellular networks and its application in educational institution teaching environments

Abstract

This article presents the development of an open-source graphical interface as a support resource for users of the srsRAN project, from SRS (Software Radio Systems), to install, configure, and visualize the performance metrics of private 5G cellular networks, using SDR (Software Defined Radio) technology from the manufacturer Ettus Research (USRP Radios). The contribution of this software development is that it enables a more intuitive and faster procedure, through a more user-friendly environment, to achieve these purposes of the 5G cellular network, compared to the traditional method of terminal commands in Linux OS. As part of the work, the didactic potential of the software was explored with a group of Telecommunications Engineering students, through its use in a laboratory practice, achieving positive evaluation results.

Keywords: GUI, open-source software, srsRAN, 5G cellular networks, software-defined radios SDR, telecommunications.

Introducción

La red celular 5G es la última generación en cuanto a tecnología de comunicación móvil y una de sus características principales, comparadas a las de 4G, es la de proporcionar velocidades de datos significativamente más altas y una menor latencia. Las redes celulares 5G permiten a las industrias realizar monitoreo en tiempo real, manejo de robots, drones, una mejora en la productividad y eficiencia, "...a la vez que ofrece[n] una mejora importante en prestaciones, fiabilidad, rendimiento y seguridad respecto a otras redes como Wifi" [1]. Debido a la relevancia que esta red tiene en sus diferentes aplicaciones en la industria, como la energética, de transporte, minera y logística, es fundamental que las instituciones de

educación superior incluyan esta tecnología en sus planes de estudio para carreras relacionadas a la ingeniería en telecomunicaciones.

srsRAN [2] es un proyecto de código abierto, desarrollado por el grupo Software Radio Systems, que tiene como objetivo ofrecer a la comunidad global de investigadores y programadores la posibilidad de implementar una RAN (Radio Access Network) basada en la tecnología de radios definidos por software (SDR, Software Defined Radio) para redes celulares privadas similares a las de cuarta y quinta generación [3].

En [4] y [5], se lleva a cabo la implementación de una red celular 5G utilizando el proyecto srsRAN desarrollado por SRS. Es de destacar que, en ambos trabajos, la metodología seguida para la implementación de una red 5G sigue siendo de forma tradicional, es decir, a través de la búsqueda de comandos, la elección de aquéllos que no generan errores y su ejecución en una terminal de Linux. Por lo tanto, el desarrollo de un software especializado que facilite la instalación de cada uno de los componentes de software, la configuración de parámetros de red y la visualización de resultados para la implementación de una red celular 5G resulta viable y útil.

Los radios definidos por software son dispositivos que, por su término general de “radios”, tienen la capacidad de transmitir o recibir información de forma inalámbrica mediante una amplia gama de frecuencias, mientras que, dentro del mismo sistema, se implementan funciones operativas que pueden sustituir partes de hardware mediante software [6].

Uno de los principales distribuidores de radios definidos por software es Ettus Research ® [7], el cual, con su variedad de modelos de radio USRP, permite operar en varias áreas relacionadas con el uso de bandas de radiofrecuencia, como son redes de telefonía móvil abiertas, los sistemas de radar, los sistemas de comunicación inalámbrica, así como su uso y aplicación como herramientas educativas para el procesamiento de señales.

Para la implementación de redes celulares 5G, los radios de Ettus Research pueden ser muy útiles, ya que varios de sus modelos soportan frecuencias de hasta 6 GHz. Su modelo más básico, el radio USRP B200, cuenta con esta característica, por lo tanto, tiene la capacidad de implementar una red celular 5G; no obstante, sus características de hardware

son limitadas en comparación con modelos de mayor gama. Por lo anterior, el usuario podría no obtener todo el potencial que ofrece una red celular 5G.

En general, una red celular de quinta generación, comúnmente llamada 5G, está compuesta por los siguientes tres elementos básicos, que, como se muestra en la Figura 1, permiten su funcionamiento para ofrecer servicios de telefonía móvil [8].

- A. **UE (User Equipment):** Son los dispositivos del usuario, tales como teléfonos móviles, tabletas, computadoras y dispositivos IoT (*Internet of Things*), que demandan los servicios de la red celular, ya sea a través del acceso a Internet, la generación de llamadas de voz, o cualquier intercambio de datos.
- B. **5G-RAN (Radio Access Network):** Este elemento es el que contiene las estaciones base llamadas *gNodeB* y que gestionan la comunicación de radio con los dispositivos UEs.
5G-Core (Núcleo): Este elemento se encarga de gestionar los datos y la conectividad con el UE a partir de varias entidades con funciones dedicadas, tales como la **AMF (Access and Mobility Management Function)**, que gestiona la señalización y la autenticación de los UEs; la **UPF (User Plane Function)**, que maneja el tráfico de datos del usuario y la conexión con redes externas como Internet; y la **SMF (Session Management Function)**, que administra las sesiones de datos, la asignación de direcciones IP y la calidad de servicio de la conexión.
- C. **SMF (Session Management Function)**, que administra las sesiones de datos, la asignación de direcciones IP y la calidad de servicio de la conexión.

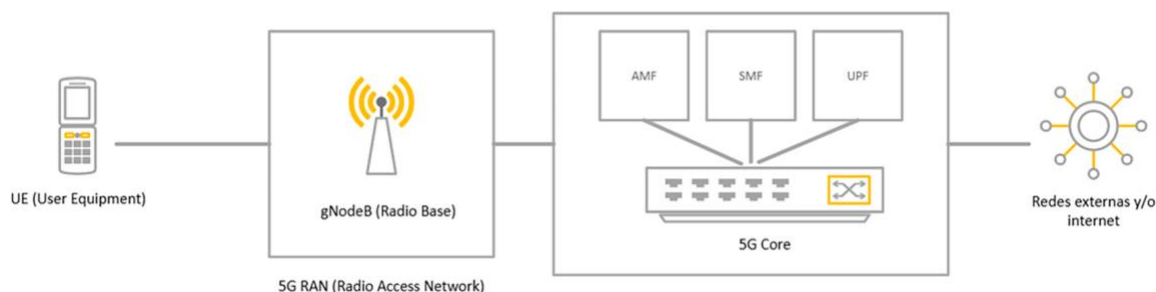


Fig. 1. Arquitectura básica de una red celular 5G

¿Por qué desarrollar software de código abierto? Porque representa un beneficio colectivo, es decir, si todos podemos desarrollar un software de código abierto para una aplicación específica, cualquier persona interesada en dicha aplicación podrá utilizarlo, lo que permite que otros se adentren al código fuente para mejorarlo y sacar versiones más avanzadas, sin quitarle protagonismo a la persona autora del software. Una de las ventajas de desarrollar este tipo de aplicaciones es el acceso libre, ya que los usuarios no tienen que adquirir licencias costosas, facilitando su alcance para todos. Además, viéndolo desde el punto de vista académico, los centros educativos pueden hacer uso de este tipo de aplicaciones para la enseñanza y formación de estudiantes, desde primarias hasta universidades.

GUI_srsRAN_5G es una aplicación de código abierto desarrollada para la automatización de tres tareas principales: la primera es la instalación del software que se necesita antes de implementar una red celular 5G; la segunda es la configuración de archivos para que la red funcione de forma correcta; y la tercera es la ejecución y uso de la red celular. La automatización de estas tareas resuelve varios problemas como: el ahorro de tiempo que representa para un usuario no tener que buscar más de 100 comandos para después ejecutarlos en la terminal de Linux; resuelve errores que se pueden presentar durante la ejecución de comandos, ya sea porque las páginas no tienen los comandos actualizados o porque, antes de cualquier instalación, se necesitan características adicionales de software, esto ayuda a que los usuarios no pasen horas o incluso días tratando de resolver problemas, lo que muchas veces termina en el restablecimiento por completo del equipo de cómputo para volver a empezar desde cero; también, evita que el usuario modifique de forma errónea los archivos de configuración, ya que alterar el formato, por muy mínimo que sea, puede generar errores en la ejecución de la red, de modo que el software también facilita la ejecución de la red.

GUI_srsRAN_5G_Graficas es una extensión de la aplicación principal que es GUI_srsRAN_5G, por lo tanto, depende de éste para realizar sus funciones. Esta pequeña extensión de software se desarrolla con el propósito de graficar los diferentes parámetros de la red celular 5G cuando se encuentra en operación. Dicho complemento de software trata de ser una alternativa a un sistema de monitoreo desarrollado por srsRAN en Grafana, que, al igual que GUI_srsRAN_5G_Graficas, muestra de manera gráfica el rendimiento de la red, sin embargo, GUI_srsRAN_5G_Graficas mejora el número de parámetros que puedes

observar y genera una pequeña base de datos a base de archivos txt que guarda el rendimiento de la red por periodos de tiempo. Por lo tanto, este software también funciona cuando la red no está activa, permitiendo abrir archivos históricos para visualizar su rendimiento. Por último, cabe mencionar que el uso de GUI_srsRAN_5G_Graficas no altera datos o ataca la vulnerabilidad del sistema para la manipulación de éstos, ni siquiera existe una modificación al código fuente del proyecto 5G desarrollado por srsRAN [2], ya que únicamente es una herramienta para la visualización y análisis de datos proporcionados por la red. Sin embargo, el usuario que utiliza el software y tiene acceso a los archivos de texto donde se almacenan los datos deberá actuar de forma consciente y responsable sobre el uso de ellos, de lo contrario, podría dar resultados manipulados o erróneos.

2. Desarrollo

2.1 Arquitectura del software

La arquitectura de software es la primera etapa que se requiere antes de empezar a realizar cualquier tipo de código de programación, ya que ésta define el diseño y organización de los diferentes elementos que van a componen al software.

El establecimiento de una arquitectura de software “se basa en desarrollar sistemas de software grandes de forma eficiente, estructurada y sobre todo que tenga la capacidad de ser reutilizado” [9] y que, a futuro, presente la ventaja de seguir creciendo, minimizando la mayor cantidad de errores posibles.

Hay diferentes arquitecturas que actualmente son muy comunes en el ámbito de programación, sin embargo, la arquitectura más utilizada es la llamada “Modelo-Vista-Controlador” [9]. Este modelo, tal y como se aprecia en Figura 2, divide la aplicación en tres componentes principales:

Modelo: Es el encargado de administrar y gestionar los datos que el usuario le asigna sus variables.

Vista: Es la interfaz que el usuario ve en su pantalla y la forma en la que interactúa con ella.

Controlador: Es el componente que se encarga de conectar el modelo con la vista de acuerdo con las peticiones del usuario.

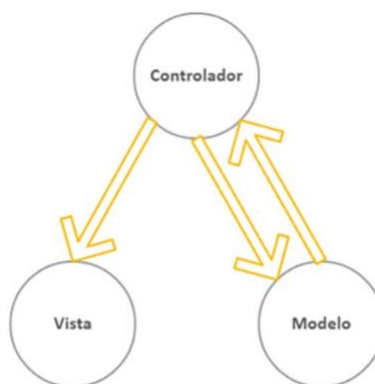


Fig. 1. Arquitectura de software Modelo-Vista-Controlador.

2.2 Instalación de componentes del software.

Para la implementación de una red celular 5G, es importante que, en una computadora con un sistema operativo Ubuntu, especialmente la versión 22.04 LTS, se descargue JDK 21, elemento principal para ejecutar la aplicación GUI_srsRAN_5G, dado que ésta está desarrollada en el lenguaje Java. En la pantalla principal, se encuentran tres botones que son elementales: "Driver UHD", "Open5GS" [10] y "srsRAN". Los dos últimos corresponden a los elementos "5G-Core" y "5G-RAN", respectivamente, de la Figura 3. "Driver UHD" es el componente que se instalará para que la PC reconozca el radio SDR que posteriormente va a fungir como radio base. Open5GS es el núcleo que deberá configurarse para la gestión de recursos de la red; este software es de otro desarrollador y es compatible con srsRAN [2]. srsRAN es la RAN que gestiona la comunicación de radio con los dispositivos usuarios, UEs. En la Figura 3 se muestra la vista principal de GUI_srsRAN_5G.



Fig. 2. Vista principal de GUI_srsRAN_5G.

La instalación de los tres componentes mencionados es fundamental para iniciar con la implementación de la red celular 5G. Los pasos por seguir son los siguientes:

1. Instalación de UHD (ver Figura 4).
2. El software reconocerá el sistema operativo y, en la terminal, se ejecutarán los comandos correspondientes a ese SO.



Fig. 3. Vista para la instalación del Driver UHD.

3. Instalación de Open5gs.

Sin importar la versión del SO Ubuntu, se ejecutarán en la terminal los comandos correspondientes.

4. Instalación de srsRAN (ver Figura 5).

Se deberá escoger la opción de 5G para poder instalar el proyecto de srsRAN para redes celulares 5G.



Fig. 4. Vista para la instalación de srsRAN Project.

Si se realiza una comparación entre realizar una instalación con GUI_srsRAN_5G y una instalación de forma tradicional, donde primero debes leer una documentación, escoger los comandos correctos para la instalación y finalmente copiar, pegar y ejecutar cada uno de esos comandos en la terminal, hay una gran diferencia, pues un software dedicado realiza toda la instalación sin errores y en menos tiempo, mientras que, de forma tradicional, el usuario tardaría más tiempo y se encontraría con una mayor cantidad de errores.

2.3 Edición de los archivos de configuración de la red celular 5G.

Una vez lista la instalación de los tres componentes principales, lo que sigue es preparar, o configurar, los archivos de operación de la red celular 5G. Para ello, hay varias secciones del software dedicadas a dicha configuración. Primero, se tiene la configuración del núcleo donde los archivos principales a modificar son los correspondientes a las entidades AMF, UPF y SMF (ver Figura 6), archivos que serán editados de acuerdo con la información que el usuario desee designar a la red.

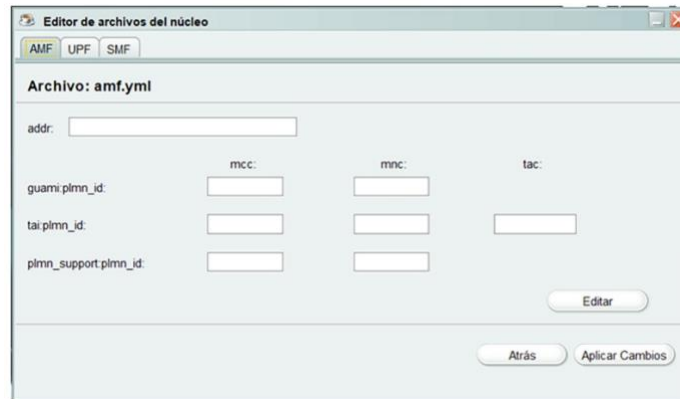


Fig. 5. Vista para configurar los archivos pertenecientes al núcleo de la red.

Por otro lado, se tiene la modificación del archivo con la configuración de los parámetros con los que se va a operar la radio-base, lo que es equivalente al gNodeB (ver Figura 7); además de otro archivo encargado de configurar la operación de un UE (sólo en caso de utilizar un radio como usuario en vez de un equipo celular), si se utiliza un celular como UE, no es necesario hacer cambios en la interfaz mostrada en Figura 8, ya que el propio celular detectará la red celular mediante una SIM (*Subscriber Identity Module*) programada.

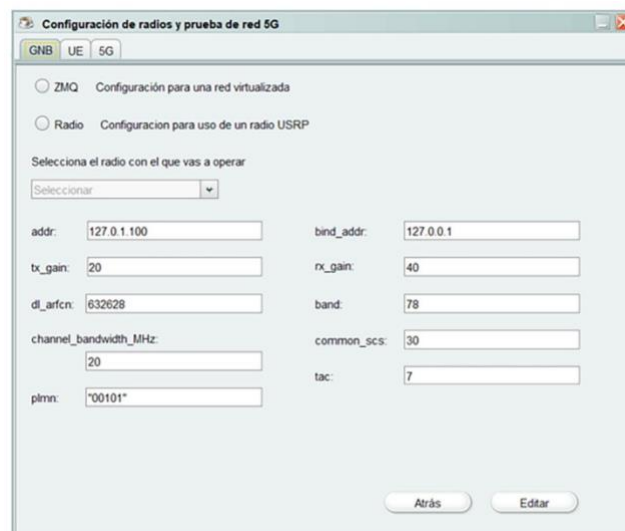


Fig. 6. Vista para configurar la radio base.

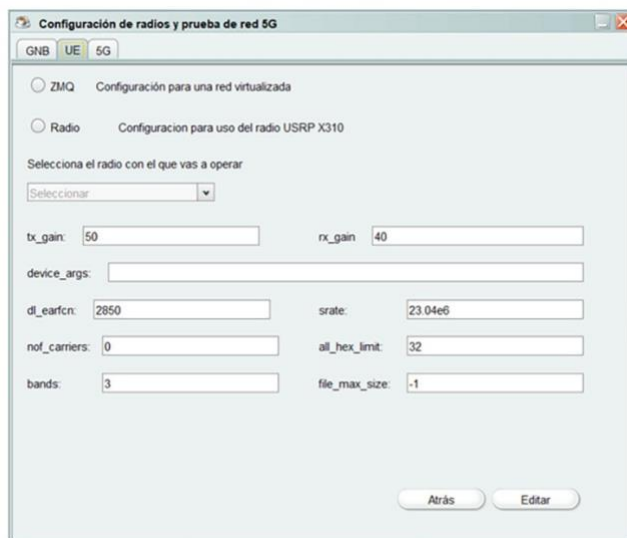


Fig. 7. Vista para configurar la radio que funge como UE.

La diferencia entre realizar la configuración de archivos de un software dedicado, como lo es GUI_srsRAN_5G, y realizarla de una forma tradicional radica en que, mediante ésta última, se tiene una gran cantidad de pestañas abiertas y se usan rutas extensas para encontrar los archivos, además de que se debe tener la precaución de no modificar la estructura del archivo, ya que esto podría generar errores que impidan la ejecución de la red celular 5G. Un ejemplo de ello se ejemplifica en la Figura 9, donde se muestra que el archivo de configuración de la radio-base cuenta con una estructura específica que, al ser alterada, puede provocar errores al momento de ejecutar la red celular 5G. Así, la ventaja del uso de GUI_srsRAN_5G para este fin es muy clara.



```
1 # This example configuration outlines how to configure the srsRAN Project gNB to
2 # create a single TDD cell
3 # transmitting in band 78, with 20 MHz bandwidth and 30 kHz sub-carrier-spacing. A
4 # USBP 8209 is configured
5 # as the RF frontend using split 8. Note in this example an external clock source is
6 # not used, so the sync
7 # is not defined and the default is used.
8
9 6 cu_cp:
10   7 anf:
11     8 addr: 127.0.0.5
12     9 port: 38412
13     10 bind_addr: 127.0.0.101
14     11 supported_tracking_areas:
15       12 - tac: 1
16         13 plmn_list:
17           14 - plmn: "99978"
18             15 tsi_slice_support_list:
19               16 - sst: 1
20
21 18 ru_sdr:
22   19 device_driver: uhd
23   20 device_args: type=b200,num_recv_frames=64,num_send_frames=64
24   21 srates: 23.04
25   22 otw_format: sc12
26   23 tx_gain: 80
27   24 rx_gain: 40
28
29 26 cell_cfg:
30   27 dl_arfcn: 368500
31   28 band: 1
32   29 channel_bandwidth_MHz: 10
33   30 common_scs: 15
34   31 plmn: "99978"
35   32 tac: 1
36   33 pci: 1
37
38 35 log:
39   36 filename: /tmp/gnb.log
40   37 all_level: warning
41
42 39 pcap:
43   40 mac_enable: false
44   41 mac_filename: /tmp/gnb_mac.pcap
45   42 ngap_enable: false
46   43 ngap_filename: /tmp/gnb_ngap.pcap
```

Fig. 8. Archivo de configuración para la radio base si no existiera GUI_srsRAN_5G.

2.4 Visualización de resultados.

Después de haber terminado con la configuración de la red celular 5G, el software GUI_srsRAN_5G permite ejecutar su operación, de tal manera que el usuario pueda realizar pruebas de desempeño de la red celular, mientras los datos se van guardando en un archivo de texto para su posterior procesamiento y análisis. El usuario puede generar varios archivos de texto con el fin de tener una pequeña base de datos de diferentes pruebas que considere importantes. Para ejecutar la red, es necesario que, dentro del software, se escoja la opción de trabajar con radios SDR, que van a funcionar como radio-bases; luego, escoger el modelo del radio SDR que tenga conectado en su PC; y, después, presionar los botones, tal como se menciona a continuación (ver Figura 10).

1. Nateo: Habilita una dirección IP (*Internet Protocol*) para el flujo de tráfico.

2. *Performance*: Configura el modelo de la radio-base para tener el mejor rendimiento de la red celular cuando está operando.
3. Ejecutar gNB: Habilita la radio-base y se prepara para el intercambio de tráfico de datos.
4. Ejecutar iPerf. Habilita un puerto para la conexión entre el gNodeB y el UE.



Fig. 9. Vista para ejecutar una red celular 5G.

Hasta el paso tres, el dispositivo celular que contiene la SIM configurada con los parámetros de la red ya debería de estar recibiendo la señal enviada por la radio base, para que, posteriormente, el usuario del software pueda configurar e implementar una prueba de intercambio de tráfico de datos TCP/UDP bidireccional entre la radio-base y el dispositivo UE mediante la herramienta iPerf [5]; lo anterior tiene, entre otros objetivos, la función tanto de validar la operación de la red celular como de medir su desempeño y capacidad. Además, el software no sólo permite hacer pruebas de tráfico, sino que, una vez el celular reciba la señal (ver Figura 11) por la radio-base, tiene la posibilidad de navegar en Internet, ver videos, consultar blogs en línea, consultar redes sociales, etc.

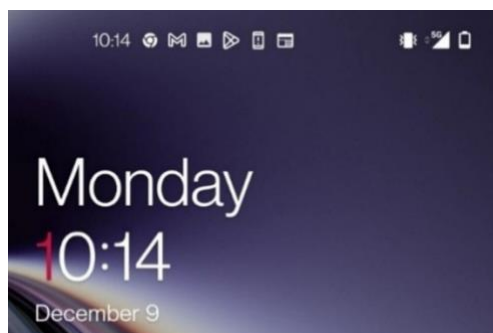


Fig. 10. Celular detectando la red celular 5G.

Para visualizar de manera gráfica y en tiempo real el comportamiento de la red celular, es necesario ejecutar la aplicación GUI_srsRAN_5G_Graficas y escribir el nombre del archivo de texto que se generó en automático usando GUI_srsRAN_5G, en el que se guardaron los datos de los resultados de la prueba. Al darle aceptar, el usuario del software tiene la posibilidad observar y analizar el comportamiento de hasta diez parámetros de desempeño en función del tiempo en una vista de 4 ventanas (ver Figura 12); cada ventana contiene una lista desplegable donde el usuario puede escoger, entre esos diez parámetros, cuál es el que desea observar y analizar (CQI, Downlink MCS, Downlink Bitrate, PUSCH, RSRP, Uplink MCS, Uplink Bitrate, BSR, TA y PHR).



Fig 11. Vista única de GUI_srsRAN_5G_Graficas con gráficas que muestran el rendimiento de la red.

Cabe mencionar que esta prueba no se hizo con el objeto de analizar el desempeño de la red celular bajo diferentes escenarios, sino, únicamente, se realizó para validar la conexión a la red y observar el consumo de datos por parte del celular. La condición bajo las que se operó esta prueba fue teniendo el radio USRP conectado mediante el puerto USB a la PC y manteniendo el celular utilizado aproximadamente a 30 cm. del radio en cuestión. Es decir, el escenario de prueba fue intencionalmente controlado y en condiciones óptimas de cobertura de señal.

Otra de las ventajas de utilizar este software dedicado es la posibilidad de graficar en cualquier momento los archivos de texto que el usuario haya generado, o que tenga guardados, sin necesidad de tener una red celular 5G activa.

Una diferencia importante entre GUI_srsRAN_5G_Graficas y Grafana es que, en GUI_srsRAN_5G_Graficas, el usuario tiene más opciones de parámetros por graficar y analizar que en Grafana. Además, en Grafana, el usuario no puede escoger qué parámetros visualizar, sino que ya están predeterminados. Aunado a esto, para poder utilizar Grafana, se debe hacer la instalación de Docker, una plataforma de software que facilita la creación,

implementación y ejecución de aplicaciones en un entorno donde la aplicación no sufre cambios al ser ejecutada en diferentes sistemas operativos; esto se traduce en ejecutar varias líneas de comandos en la terminal para la instalación de Docker, lo que puede llevar en repetidas ocasiones a cometer errores. Otra diferencia importante entre utilizar Grafana en comparación con GUI_srsRAN_5G_Graficas es que, con el primero, se requiere de una conexión a internet estable porque, de lo contrario, se pueden generar errores de conexión y una mayor latencia, lo que puede provocar pérdida de datos y lentitud al mostrar la gráfica de los diferentes parámetros de la red, respectivamente, mientras que el uso de GUI_srsRAN_5G_Graficas no requiere una conexión a internet dado que el procesamiento se hace de manera local, asegurando la visualización de datos sin interrupciones y, al mismo tiempo, el respaldo de los mismos.

3. Resultados

La comparación entre tener un software dedicado como lo son GUI_srsRAN_5G y GUI_srsRAN_5G_Graficas, así como hacer uso tradicional de la terminal de comandos, evidencia que los usuarios puedan tener a su disposición una interfaz alternativa para el uso de la red celular privada que no genera errores de instalación, ni de configuración de la misma. Asimismo, hacer estos procesos en la terminal de Linux puede resultar en un camino más complejo, tedioso y que demande más tiempo para conseguir la operación de la red celular, sobre todo si los usuarios son principiantes o poco experimentados en el uso de una distribución del SO Linux.

En este sentido, a continuación, en la Tabla I, se muestran únicamente los tiempos de instalación requeridos para los tres componentes que se describen en la Sección 2.2 en una computadora de escritorio, con un procesador Intel® Core i7 de 9th generación, 16GB de RAM y 500GB en SSD, tanto con el uso del software desarrollado como con el método tradicional en la terminal de comandos, puesto que, como se ha explicado, el mayor problema es el tiempo que tarda el usuario en hacer la instalación de forma tradicional y lo complejo que puede llegar a ser este procedimiento. Aunque las especificaciones técnicas de la computadora influyen en el tiempo de instalación del software, en este caso, el consumo de recursos no se ve afectado de forma significativa por dicha instalación, debido que, en la actualidad, el equipo computacional sobrepasa las mínimas especificaciones para realizar los

procedimientos de instalación de software. La metodología utilizada para obtener los resultados consistió en cronometrar el tiempo que requirió la instalación de cada componente, tanto con el software desarrollado como de forma tradicional (comandos ejecutados en la terminal). En el caso del software, éste ya se tenía abierto, la acción sólo requirió presionar el botón, o botones, correspondientes para realizar la instalación de cada uno de los tres componentes, mientras que, para la forma tradicional, los comandos ya estaban listados en un archivo de texto y solo se hizo la ejecución de ellos en la terminal de Ubuntu, evitando también comandos que generan errores al momento de su ejecución.

Tabla I. Comparación de tiempos entre GUI_srsRAN_5G y la terminal de comandos tradicional para la instalación de UHD, Open5GS y srsRAN

Instalación con "GUI_srsRAN_5G"				Instalación tradicional			
UHD	Open5gs	srsRAN	Total	UHD	Open5gs	srsRAN	Total
13:49	15:51	18:08	48:20	18:47	21:13	26:05	66:05
min	min	min	min	min	min	min	min

Como se muestra en la Tabla I, el usuario con el uso de GUI_srsRAN_5G ahorra alrededor de 18 minutos en instalación de los elementos de la red. Aunque no parezca una diferencia abrumadora, existe una eficiencia por parte del software desarrollado. Además de esto, realizar un software dedicado permite corregir los errores que arrojan varios comandos al ser ejecutados en la terminal, desde la instalación hasta la ejecución de la red celular, que se deben a que los desarrolladores de este tipo de proyectos de código abierto, como son srsRAN y Open5GS, no actualizan constantemente la documentación que proveen a la comunidad y, así, el usuario de estos proyectos puede frustrarse debido al tiempo y a la complejidad de la resolución de los problemas. En el aspecto de actualización, GUI_srsRAN_5G tiene soporte hasta que los desarrolladores de srsRAN u Open5GS realicen actualizaciones con grandes cambios a sus repositorios, lo que normalmente se traduce en alrededor de 3 meses; por lo tanto, el software desarrollado tiene soporte por un tiempo

considerable y la capacidad de adaptarse a nuevas actualizaciones de funcionalidad y visualización.

3.1 GUI_srsRAN_5G y GUI_srsRAN_5G_Graficas como recurso didáctico.

Por otro lado, además del uso que se puede dar al desarrollo de software abierto GUI_srsRAN_5G y GUI_srsRAN_5G_Graficas en la implementación de redes celulares 5G privadas para fines de desarrollo tecnológico, es muy importante resaltar el uso potencial que la herramienta puede tener en instituciones educativas de nivel superior como un recurso didáctico para la enseñanza-aprendizaje de las tecnologías de conectividad 5G.

3.2 Caso de uso de GUI_srsRAN_5G por estudiantes de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Para demostrar estas posibilidades del software, se diseñó una práctica de laboratorio piloto para desarrollarla con un grupo de seis alumnos del noveno semestre de la carrera de Ing. en Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, que cursaron la asignatura de Redes Embebidas Inalámbricas en el semestre lectivo 2025-1; ellos ya contaban con antecedentes generales de la teoría de las redes celulares 5G. El trabajo de laboratorio partió desde el reconocimiento del software GUI_srsRAN_5G, la instalación de los tres componentes de la red celular 5G y hasta la visualización de resultados de desempeño de la red celular bajo prueba. La condición de dicha prueba de red fue con el uso de un radio USRP B210, que fungía como radio-base que intercambiaba tráfico de datos con un celular comercial mediante la navegación de Internet en el edificio Q de la Facultad de Ingeniería (ver Figura 13).



Fig. 12. Estudiante haciendo uso de la red celular 5G, realizando el consumo de datos mediante un video de YouTube a través de un radio USRP B210.

Como resultado de la práctica, se hizo la entrega de un reporte técnico de los resultados para la evaluación de los alumnos, se les involucró en una dinámica de evaluación subjetiva del uso de GUI_srsRAN_5G, en conjunto con los equipos SDR, para su aprovechamiento en la aplicación y reforzamiento de los conocimientos teóricos de las redes celulares 5G y, en general, de los servicios de telefonía celular. A través de las respuestas de un cuestionario definido *ad hoc* para este propósito, el grupo de estudiantes dio, en general, una valoración positiva con el uso de un puntaje por estrellas, como se muestra en Figura 14. Es necesario mencionar que los resultados obtenidos están condicionados por el reducido tamaño de la muestra de estudiantes y se requiere más evidencia cuantitativa para demostrar la efectividad del software ante diferentes escenarios de enseñanza, así como tener una evaluación más detallada y concisa del mismo; por ejemplo, la elaboración formal de una práctica de laboratorio o el uso del software como herramienta auxiliar para asignaturas que aborden la implementación de redes celulares 5G.

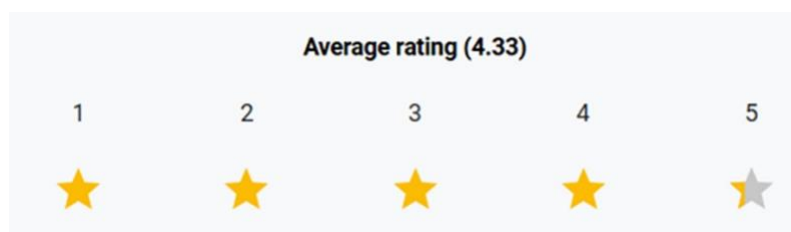


Fig. 13. Puntuación establecida para GUI_srsRAN_5G y GUI_srsRAN_5G_Graficas por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones que participaron en la realización de una práctica.

En este sentido, este software desarrollado constituye, en sí mismo, una herramienta didáctica cuya pertinencia puede ser analizada para ser integrada en los planes de estudio vigentes o venideros de la UNAM y de otras instituciones de educación superior, de carreras como Ing. en Telecomunicaciones, Ing. en Computación y Electrónica, Ing. Telemática, o afines, a través de asignaturas obligatorias u optativas, con una modalidad de curso-laboratorio o laboratorio, y que tengan una orientación hacia un campo de conocimiento de sistemas de comunicación inalámbricos y móviles.

Conclusiones

El desarrollo de los softwares de código abierto GUI_srsRAN_5G y su extensión GUI_srsRAN_5G_Graficas, a partir de los proyectos de srsRAN y Open5GS, son útiles para la implementación, ejecución y evaluación experimental del desempeño de redes celulares 5G privadas basadas en la tecnología SDR (*Software Defined Radio*), que posibilitan el avance de proyectos de desarrollo tecnológico e innovación, y de investigación en el campo del conocimiento de redes celulares de última generación. No obstante, este software tiene el potencial de ser aplicado como un recurso didáctico en los procesos de enseñanza-aprendizaje de redes celulares en general y, en particular, de las tecnologías de redes 5G, a través del diseño y desarrollo de prácticas de laboratorio en los cursos curriculares de instituciones de educación superior. Esta posibilidad se tiene gracias a que GUI_srsRAN_5G provee una interfaz de usuario intuitiva y amigable desde la instalación de los componentes de la red celular y la configuración de los parámetros de operación de la misma, hasta la visualización de los resultados de desempeño para el análisis experimental de la tecnología

5G. Es importante mencionar que, por un lado, GUI_srsRAN_5G requiere de tiempos menores para la instalación y configuración de la red que el método tradicional que usa comandos en la terminal de Linux, además de que reduce la posibilidad de cometer errores por parte del usuario y, por otro lado, provee más versatilidad en la visualización y análisis de desempeño de la red celular mediante GUI_srsRAN_5G_Graficas, frente a otras alternativas de desarrollo existentes y conocidas por la comunidad. Desde ahora, GUI_srsRAN_5G y su extensión GUI_srsRAN_5G_Graficas se incorporan al mundo de aplicaciones de código abierto como apoyo para la comunidad interesada en el desarrollo de las tecnologías celulares.

Financiamiento

Este trabajo se elaboró gracias a la financiación del proyecto PAPIIT – IG100724 “Diseño, análisis e implementación de una red celular 5G-LoRa en la UNAM con un fronthaul DWDM para aplicaciones IoT y servicios en una ciudad inteligente”, aprobado por la DGAPA, UNAM, en la convocatoria 2024.

Referencias

- [1] m1nsalt. (s.f.). “Redes Privadas 5G La solución a las necesidades de las industrias verticales”. Recursos BPS. [En línea]. Disponible: <https://recursos.bps.com.es/files/1062/06.pdf> [Accedido: 10 de junio de 2025].
- [2] “srsRAN Project - Open Source RAN”. srsRAN - Open Source RAN. [En línea]. Disponible: <https://www.srsran.com> [Accedido: 16 de febrero de 2025].
- [3] “Software for mobile wireless network - SRS”. SRS (Software Radio Systems). [En línea]. Disponible: <https://srs.io> [Accedido: 16 de febrero de 2025].
- [4] W. Flakowski, M. Krasicki y R. Krenz, “Implementation of a 4G/5G Base Station Using the srsRAN Software and the USRP Software Radio Module”, J. Telecommun. Inf.

- Technol., n.º 3, pp. 30–40, septiembre de 2023. Accedido el 10 de junio de 2025. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.26636/jtit.2023.3.1298>
- [5] P. Liu, K. Lee, F. Cintrón y S. Wuthier. “Blueprint for Deploying 5G O-RAN Testbeds: A Guide to Using Diverse O-RAN Software Stacks”. NIST Technical Series Publications, NIST TN 2311, 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2311> [Accedido: 10 de junio de 2025].
- [6] M. Jaramillo, “Software-Defined Radio for Engineers. Artech House, 2018.”, Fac. Ing. En Electr. Comput. Esc. Super. Politec. Del Litoral, Guayaquil-Ecuador, s. f.
- [7] Aprendiendo Redes Moviles, “Arquitectura de una red 5G - parte 2”. YouTube, video, 24 agosto 2024. [En línea]. Disponible: https://www.youtube.com/watch?v=A4Z_bUfnOZ4 [Accedido: 17 de febrero de 2025].
- [8] “Ettus Research – The leader in Software Defined Radio (SDR),” Ettus Research. [En línea]. Disponible: <https://www.ettus.com> [Accedido: 10 de junio de 2025].
- [9] A. Ken, “Arquitectura de software: ¿Qué es y qué tipos hay?”, Gluo. [En línea]. Disponible: <https://www.gluo.mx/blog/arquitectura-de-software-que-es-y-que-tipos-hay> [Accedido: 16 de febrero de 2025].
- [10] S. Lee, “Documentation,” Open5GS. [En línea]. Disponible: <https://open5gs.org/open5gs/docs/> [Accedido: 10 de junio de 2025].