

Infraestructura para la monitorización del consumo energético en redes b5G/6G

Carlos S. Alvarez-Merino⁽¹⁾, David Segura⁽¹⁾, Carlos Baena⁽¹⁾, Emil J. Khatib⁽¹⁾, Raquel Barco⁽¹⁾
 {cam, dsr, jcbg } @ic.uma.es; {emil, rbarco} @uma.es

⁽¹⁾Instituto de Telecomunicación (TELMA), Universidad de Málaga, Bulevar Louis Pasteur 35, 29010 Málaga (España)

Abstract—Sustainability is a critical factor in the development of future beyond-5G (b5G)/6G networks. This work highlights the importance of energy efficient practices to reduce environmental impact and resource consumption, in line with the objectives of the International Mobile Telecommunications (IMT) 2030. The increasing energy consumption in telecommunications networks highlights the need for corrective action without compromising network performance or security. The paper presents an Open Radio Access Network (O-RAN) architecture for 5G networks that enables the monitoring and optimization of energy consumption. The study integrates xApps and rApps into various emulated network elements to provide a real streaming service while monitoring the power consumption of the different network elements.

Index Terms—Eficiencia energética, monitorización, b5G, 6G, arquitectura de red.

I. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad representa uno de los pilares fundamentales en el desarrollo y despliegue de redes de comunicación avanzadas, especialmente en el contexto de la *beyond-5G* (b5G)/6G [1]. Para garantizar la viabilidad a largo plazo de estas redes, es necesario apostar por prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental y la utilización de recursos. Este enfoque en la sostenibilidad crea un marco para el desarrollo de las tecnologías de telecomunicaciones, promoviendo el despliegue responsable en el panorama en avance de las redes b5G/6G. Los objetivos de la *International Mobile Telecommunications* (IMT) para 2030 pretenden abordar la necesidad de una mayor sostenibilidad medioambiental, social y económica, al tiempo que se alinea con los objetivos esbozados en el Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [2]. Las implementaciones de la IMT-2030 deben dar prioridad a un impacto medioambiental mínimo y a la eficiencia de los recursos mediante la optimización del consumo de energía y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según [3], se espera que el uso de energía eléctrica por parte de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) aumente de 611 a 1.752 Terawatios/hora de aquí a 2030. Este ritmo acelerado de consumo de energía en las redes de comunicaciones inalámbricas augura un problema importante en el futuro, a menos que se tomen medidas correctoras para alterar la trayectoria actual. Así pues, entre las consideraciones

cruciales figuran la mejora de la Eficiencia Energética (EE), la reducción del consumo de energía y el uso prudente de los recursos [4]. Esto implica optimizar la vida útil de los equipos, la capacidad de reparación, la reutilización y las prácticas de reciclaje. La EE es un indicador medible de la sostenibilidad, que representa la cantidad de información transmitida o recibida por unidad de energía consumida (medida en bit/Joule) [1]. Es la relación entre el rendimiento y el consumo de energía [5].

Recientemente, dentro del ámbito del *Radio Access Network* (RAN), se ha hecho hincapié en la EE como uno de los requisitos clave para avanzar. Por ello, varios proyectos como MAORI-4 [6] o Hexa-II [7] tienen, entre otros objetivos, desarrollar redes más eficientes. El objetivo general de la *Open-RAN* (O-RAN) es conseguir gradualmente una mayor EE. Sin embargo, esto no debe ser a costa de otros conceptos clave de la O-RAN como son la seguridad o la interoperabilidad [1]. La EE deberá construirse sobre redes autoconfigurables que mediante *Artificial Intelligence/Machine Learning* (AI/ML) permitan reducir el consumo energético manteniendo unos niveles similares de *Quality of Service* (QoS) [8].

En este trabajo proponemos una arquitectura alineada con O-RAN como base para el b5G/6G de un sistema de monitorización de los diferentes elementos de la red que intervienen en un servicio extremo a extremo como el consumo de vídeo bajo demanda. La principal contribución de este trabajo es un sistema que permite monitorizar el consumo de los diferentes elementos de una red real 5G, como son el Core o la eNodeB (eNB), dentro de una arquitectura O-RAN. Esto permite tomar las acciones pertinentes sobre los componentes de la red, con el objetivo de reducir su consumo energético.

El resto del documento se organiza de la siguiente forma. La Sección II explica los diferentes elementos de una arquitectura O-RAN así como de la comunicación entre los diferentes elementos. En la Sección III se describe el servicio de monitorización y el software utilizado en la medición del consumo energético en una red emulada 5G SA. En la Sección IV se describe y analiza el escenario propuesto para la *Proof of Concept* (PoC) con descarga de vídeo con diferentes resoluciones. Por último, en la Sección V se presentan las conclusiones y líneas futuras de este trabajo.

II. ARQUITECTURA DE RED B5G/6G

La Figura 1 ilustra de forma resumida la arquitectura de red de la red en O-RAN con los diferentes elementos de red e interfaces de comunicación entre ellos. La O-RAN introduce los controladores inteligentes de RAN (*RAN Intelligent Controller*, RIC) que son componentes software responsables de controlar y optimizar la funcionalidades de la RAN en tiempos inferiores a 1s (*Near Real-Time RIC*, Near-RT RIC) o superiores a 1s (Non-RT RIC) [9]. Near-RT RIC es un nodo situado entre la capa de gestión y orquestación de servicios (*Service Management and Orchestration*, SMO) y los nodos RAN. El bloque de Non RT-RIC se encuentra normalmente alojado en el SMO y proporciona un subconjunto de las funcionalidades dentro del marco del SMO. Las funcionalidades de la RAN se implementan de forma desagregada entre los siguientes elementos de red [10]:

- *Open Radio Unit* (O-RU): define la infraestructura de la capa física de la red que contiene los diferentes puntos de acceso y elementos de radio.
- *Open Distributed Unit* (O-DU): contiene las capas inferiores de una estación base tradicional como la capa física, control de acceso al medio y control de radioenlace.
- *Open Central Unit* (O-CU): contiene las capas superiores de una estación base. Una única O-CU puede tener numerosas O-DUs distribuidas en una amplia zona.

Los O-RUs pueden ser *Software-Defined Radio* (SDR) mientras que los O-DUs y los O-CUs se pueden integrar en máquinas virtuales dentro de elementos más generales como servidores físicos o plataformas de virtualización. Los nodos E2 dentro de los O-CUs y O-DUs son los encargados de aplicar las diferentes funcionalidades en función del estado de la red.

El Non-RT RIC suele implementar las aplicaciones *rApps* que proporcionan la inteligencia adicional y la toma de decisiones mediante modelos de AI/ML basada en los datos relacionados con los diferentes elementos otorgando una optimización de la RAN. Las aplicaciones *xApps* son las encargadas de monitorizar y ajustar los diferentes elementos de red para cumplir con objetivos del SMO. Además, las *rApps* suelen operar con bucles de realimentación con la información de las *xApps* para el control estricto de la red y evitar fallos o situaciones no deseadas. Las *xApps* permiten al Near-RT RIC reconfigurar los diferentes nodos O-CU, O-DU y O-RU para optimizar recursos y alcanzar objetivos específicos, como la eficiencia energética. Hay que tener en cuenta que el entrenamiento de las *xApps* también consumen energía y hay que monitorizar desde la fase más temprana dicho consumo con métricas como la carga de la CPU o la GPU para comprobar la rentabilidad real de los mecanismos de eficiencia energética.

Por otro lado, tal y cómo se define en [9], la comunicación entre los diferentes elementos de la red b5G/6G es la siguiente:

- Near-RT RIC y Non-RT RIC se comunican mediante el enlace A1 para el ajuste de nuevas políticas y el reporte de información.
- La comunicación entre Near-RT RIC y los diferentes elementos O-CU y O-DU se realizan a través de los nodos E2 y enlaces E2.

- SMO se comunica con Near RT-RIC y los diferentes elementos (O-CU, O-DU y O-RU) mediante el enlace O1 para la implementación de las funcionalidades y políticas de las *rApps*.
- Los O-DUs permiten gestionar la configuración de los O-RUs a través de la interfaz Fronthaul para ajustar los recursos radio.
- La interfaz R1 permite la comunicación entre Non-RT RIC, *rApps* y SMO para la obtención de datos y la implementación de nuevas políticas.
- O-CUs y O-DUs se comunican mediante la interfaz F1.

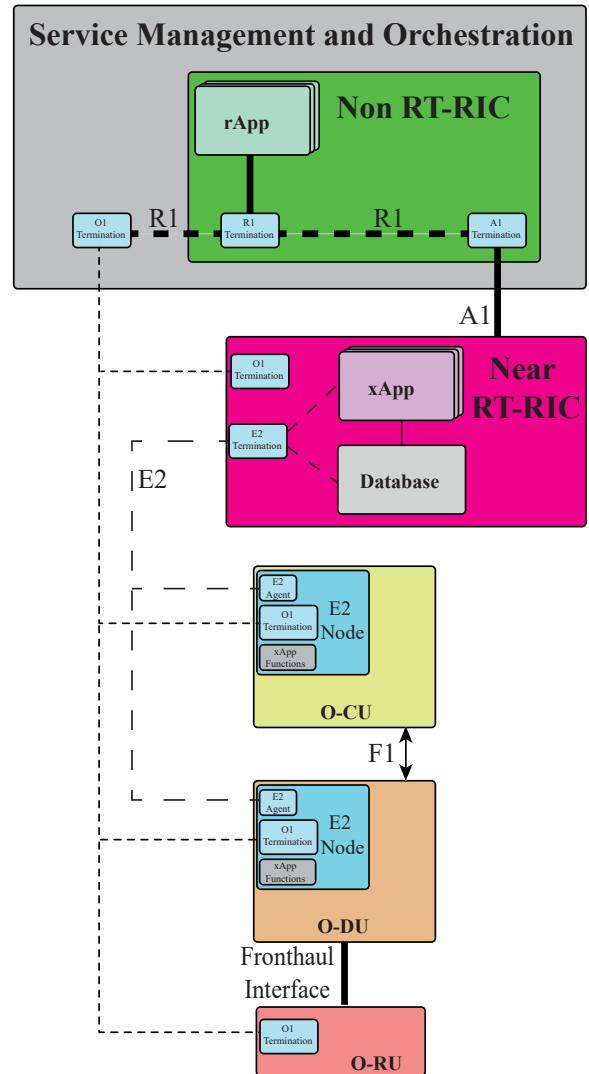


Fig. 1: Esquema de la arquitectura de O-RAN

III. SERVICIO MONITORIZACIÓN PARA LA EE

La variación espacio-temporal de la demanda de tráfico permite a los SMO la oportunidad de apagar celdas enteras o algunos recursos operativos para ahorrar energía [11]. La

activación y desactivación dinámica de recursos en O-RAN sirve como base para conseguir una mayor eficiencia energética.

El servicio de monitorización requiere de una *rApp* dentro del Non-RT RIC que permita la optimización de la eficiencia energética en función de la QoS de los usuarios. Para ello, se debe monitorizar el consumo de los diferentes elementos de red y, en caso de que alguno de estos sean virtualizados, el consumo de dichos procesos. Este servicio de monitorización se puede realizar de dos maneras. Por un lado, se puede realizar midiendo mediante software el consumo de los elementos de red. Por otro lado, se puede realizar mediante medidas del consumo en el conexionado del dispositivo a la red eléctrica.

Una vez que el sistema sea capaz de recopilar y almacenar la información del consumo de los diferentes elementos de red, una *rApp* puede ejecutar los algoritmos de AI/ML para predecir el consumo en un futuro próximo y realizar ajustes en la red para minimizar el consumo energético en función de las necesidades presentes. Para ello, se deben capturar los parámetros relacionados con la calidad del servicio como pueden ser el tráfico de los usuarios (*throughput*, tipo de servicio, etc.), latencia o disponibilidad del servicio, entre otros. Para cumplir con los requisitos de calidad y minimizar el consumo energético, se debe recopilar los parámetros de consumo por celda y portadora e incluso de los diferentes elementos que intervienen en dicho servicio. Tras recopilar dicha información en el Non-RT RIC, se realiza un análisis de los datos para generar un modelo AI/ML que, tras las etapas de entrenamiento y validación, se despliega el modelo para realizar los ajustes necesarios con el fin de optimizar la eficiencia energética. Esta etapa también se conoce como etapa de inferencia.

Durante la inferencia, el SMO se comunica con los O-CUs y O-DUs para desplegar dicho nuevo modelo. Una vez que el modelo se ha desplegado, los diferentes elementos de la red tienen la capacidad de reconfigurarse de forma óptima para reducir el consumo energético manteniendo la QoS. Existe una retroalimentación con el Near-RT RIC integrada en una *xApp* de forma que, si las condiciones de red cambian, el modelo vuelve a entrenarse para tener en cuenta las nuevas condiciones, generando un nuevo modelo que permita realizar nuevos ajustes en la red.

A continuación, se describe el software implementado para monitorizar nuestro sistema y reportar información sobre el consumo de los diversos elementos de la red 5G que operan bajo un sistema operativo Linux.

1) *Scaphandre*: es un programa de metrología dedicado a las métricas de potencia eléctrica y consumo de energía. El objetivo de este software es permitir a cualquier empresa o particular medir el consumo eléctrico de sus elementos físicos o virtualizados y obtener estas métricas a través de mensajes tipo JSON para poder enviarlo a cualquier sistema de monitorización o análisis de datos. *Scaphandre* realiza una medición detallada del consumo de energía de los diferentes procesos ejecutados dentro de los componentes de la red, lo que facilita una monitorización más precisa para la toma de acciones sobre estos elementos [12].

2) *MySQL*: es un sistema de gestión de bases de datos relacionales que organiza y almacena datos en un formato estructurado, lo que permite una recuperación y manipulación eficientes. Además, proporciona un punto de acceso de lectura/escritura que permite conectarse a la instancia de MySQL utilizando protocolos estándar, para un análisis posterior de eventos en la red [13].

3) *Grafana*: es una plataforma de análisis y visualización de datos que permite a los usuarios interactuar con métricas y registros para observar, monitorizar y controlar diversas aplicaciones y sistemas. Posee una gran flexibilidad y capacidad para integrarse con diversas fuentes de datos, como Prometheus, InfluxDB o MySQL. Grafana destaca por su capacidad para crear visualizaciones personalizadas y dinámicas. Además, es altamente escalable y puede integrarse con sistemas de alerta, permitiendo a los SMO notificaciones en tiempo real sobre eventos importantes o anomalías en la red [14].

IV. PROOF OF CONCEPT (POC)

En esta sección se explica en detalle el funcionamiento de nuestro sistema de monitorización de nuestra red 5G ante un servicio de descarga de vídeo bajo demanda con diferentes resoluciones. La elección de este servicio se fundamenta en su popularidad y su impacto significativo en el consumo de recursos. El *streaming* de vídeo es uno de los principales generadores de tráfico en Internet, y su demanda sigue creciendo constantemente. Además, este servicio presenta una diversidad de resoluciones y calidades que pueden afectar significativamente al consumo de recursos de la red. Una mayor QoS requiere un mayor ancho de banda, capacidad de procesamiento y, por ende, un mayor consumo de energía por parte de la red para satisfacer las demandas de rendimiento [8]. Por tanto, monitorizar el consumo de energía en un servicio de *streaming* de vídeo no solo es relevante desde el punto de vista del usuario final, sino también en términos de gestión eficiente de recursos y sostenibilidad en las redes de comunicación.

El objetivo del PoC consiste en monitorizar el consumo de la red de un servicio de descarga de vídeo bajo demanda con diferentes resoluciones. El sistema propuesto incluye un sistema equipado con un AMARI Callbox [15], una solución práctica para llevar a cabo pruebas reales de dispositivos 5G NSA y SA. Estas pruebas son fundamentales para la investigación en redes 5G/6G. El AMARI Callbox emula las funciones de un eNB evolucionado y 5G Core (5GC), conforme a los estándares *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), lo que posibilita pruebas tanto funcionales como de rendimiento. Además, permite la simulación de diversos eNBs y *User Equipments* (UEs), adecuándose al ámbito inalámbrico y compatible con hardware disponible en el mercado, incluyendo la capa física [15].

En nuestro sistema, las funciones de monitorización están integradas en el eNB (O-RU) y en el 5GC (O-CU). Ambos elementos tienen integrados una aplicación *xApp* en un nodo E2 que reportan su consumo energético a un sistema externo, que funciona como el Non-RT RIC. Las medidas de consumo se

procesan en una *rApp* y se almacenan en MySQL. Dicha información se representa en *Grafana* para representar el consumo de los diferentes elementos de red.

Las Figura 2 muestra el consumo del eNB durante la descarga de vídeo con dos resoluciones diferentes: 720p (azul) y 1440p (rojo) que se han podido visualizar en tiempo real y se han almacenado para llevar a cabo estudios relacionados con la predicción del consumo de los diferentes elementos de la red. Se puede observar que el consumo para una mayor resolución va asociado a un mayor consumo de potencia de los elementos de la red.

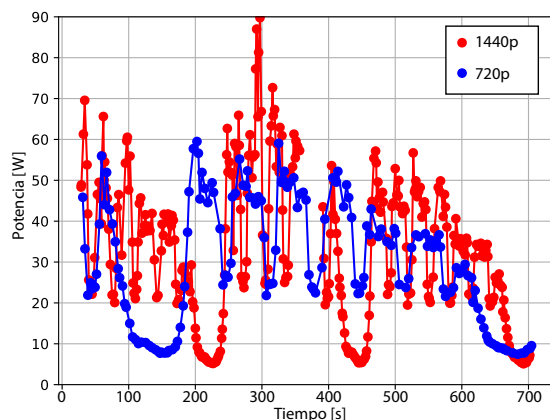


Fig. 2: Comparativa consumo de potencia del eNB con diferentes resoluciones

La Figura 3 muestra la interfaz de Grafana durante la monitorización en tiempo real del consumo de energía del eNB durante el streaming de vídeo de una resolución de 720p.

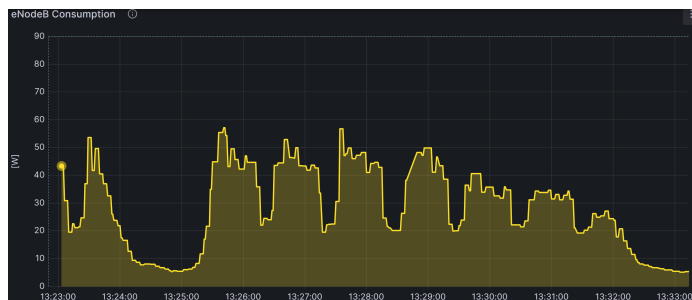


Fig. 3: Consumo en tiempo real del eNB en Grafana para una resolución de 720p

V. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este trabajo, presentamos una arquitectura basada en O-RAN para la monitorización y optimización del consumo energético en redes 5G/6G. Es por ello que se destaca la importancia de la sostenibilidad y la necesidad de medidas y herramientas para reducir el consumo energético sin comprometer el rendimiento de los servicios de telecomunicación. La arquitectura presentada permite la monitorización de los diferentes elementos, como O-RUs, O-DUs y O-CUs, para

controlar y optimizar el consumo de energía. Por ello, se ha propuesto un servicio de monitorización de *streaming* bajo demanda utilizando las herramientas Scaphandre, MySQL y Grafana.

Gracias a que se almacena la información en una base de datos, se pueden realizar estudios para predecir el consumo energético y llevar a cabo acciones sobre la red. Para ello, un objetivo a corto plazo sería desarrollar algoritmos de AI/ML que analizaran los datos de consumo e identificaran las necesidades de los usuarios y de la red de forma que se optimicen los recursos existentes para conseguir un consumo mínimo de energía manteniendo una QoS similar en todo momento. Por otro lado, se pretende implementar la retroalimentación a dicho algoritmo entre las *xApps* y *rApps* con el objetivo de conseguir redes adaptativas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital y la Unión Europea con fondos *NextGenerationEU* dentro del marco de “Recuperación, Transformación y Resiliencia en el marco del proyecto MAORI y gracias también a través del III plan Propio de Investigación y Transferencia.

REFERENCES

- [1] M. D. M. Hoffmann, “The O-RAN Whitepaper 2023 – Energy Efficiency in O-RAN,” Rimedo Labs, Tech. Rep., 2023.
- [2] I. RECOMMENDATION, “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond,” tech. rep., International Telecommunication Union (ITU) Recommendation (ITU-R), Tech. Rep., 2023.
- [3] S. Lambert, W. Van Heddeghem, W. Vereecken, B. Lannoo, D. Colle, and M. Pickavet, “Worldwide electricity consumption of communication networks,” *Optics express*, vol. 20, no. 26, pp. B513–B524, 2012.
- [4] T. T. Deutsche Telekom, Orange and Vodafone, “Open RAN Technical Priorities, Focus on Energy Efficiency,” <https://www.orange.com/sites/orangecom/files/documents/2022-03/Open%20RAN%20Technical%20Priorities%20-%20Energy%20Efficiency%20-%20FV.pdf>, 2021, [Online] Accessed: 05/03/2024.
- [5] ETSI, “Environmental Engineering (EE); Assessment of mobile network energy efficiency,” European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Etsi Standard (ES) 203.228, 10 2020, version 1.3.1.
- [6] “MAORI-4 Project,” <https://mobilenet.uma.es/index.php/2023/05/29/maori-4/>, accessed: 27/02/2024.
- [7] “Hexa-II Project,” https://hexa-x-ii.eu/wp-content/uploads/2024/01/Hexa-X-II_D1.2.pdf, accessed: 27/02/2024.
- [8] H.-W. Kao and E. H.-K. Wu, “QoS Sustainability on 5G and Beyond 5G Networks,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 30, no. 1, pp. 118–125, 2023.
- [9] S. Marinova and A. Leon-Garcia, “Intelligent O-RAN Beyond 5G: Architecture, Use Cases, Challenges, and Opportunities,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 27 088–27 114, 2024.
- [10] E. J. Khatib, C. S. Alvarez-Merino, H. Q. Luo-Chen, and R. B. Moreno, “Designing a 6g testbed for location: Use cases, challenges, enablers and requirements,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 10 053–10 091, 2023.
- [11] M. Hoffmann, P. Kryszkiewicz, and A. Kliks, “Increasing energy efficiency of massive-MIMO network via base stations switching using reinforcement learning and radio environment maps,” *Computer Communications*, vol. 169, pp. 232–242, 2021.
- [12] B. Petit, “Scaphandre,” <https://hubblo-org.github.io/scaphandre/>, 2020, [Online] Accessed: 15/02/2024.
- [13] P. DuBois, *MySQL*. Addison-Wesley, 2013.
- [14] M. Chakraborty and A. P. Kundan, “Grafana,” in *Monitoring Cloud-Native Applications: Lead Agile Operations Confidently Using Open Source Software*. Springer, 2021, pp. 187–240.
- [15] “Amarisoft,” <https://www.amarisoft.com/>, accessed: 03/04/2024.