

ARQUITECTURA PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS DE VIDEO SOBRE REDES MÓVILES MEDIANTE REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE Y SEGMENTACIÓN DE RED

ARCHITECTURE FOR VIDEO STREAMING SERVICES DEPLOYMENT ON MOBILE NETWORKS USING SOFTWARE-DEFINED NETWORKING AND NETWORK SLICING

 Ing. José Luis Chavez-Picon*,  PhD. Wilmar Yesid Campo-Muñoz*,
 PhD. Gabriel Elías Chanchí-Golondrino**

* **Universidad del Quindío**, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica.
Carrera 15 #12N, Armenia, Quindío, Colombia.
E-mail: {jlchavez, wycampo}@uniquindio.edu.co

** **Universidad de Cartagena**, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Sistemas.
Av. El Consulado o Calle 30 48 B 152, Cartagena de Indias Bolívar, Colombia.
E-mail: gchanchig@unicartagena.edu.co

Cómo citar: Chavez-Picon, J. L., Campo-Muñoz, W. Y., & Chanchí-Golondrino, G. E. (2023). ARQUITECTURA PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS DE VIDEO SOBRE REDES MÓVILES MEDIANTE REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE Y SEGMENTACIÓN DE RED. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA (RCTA), 2(42), 33–41. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i42.2651>

Derechos de autor 2023 Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA).
Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Resumen: El presente artículo propone el diseño de una arquitectura para el despliegue de servicios de videostreaming sobre una infraestructura de redes móviles teniendo en cuenta los conceptos de redes definidas por software, radio definida por software y segmentación de red, con el objetivo de que sea flexible y escalable. Como principal contribución de este artículo, se presenta una arquitectura para el despliegue y consumo de servicios de videostreaming sobre infraestructura de red móvil basada en enfoques de redes definidas por software y segmentación de red. La arquitectura propuesta se especificó a través de la vista funcional y la vista de implementación, las cuales definieron los módulos funcionales extremo a extremo del servicio de videostreaming, así como las tecnologías utilizadas para la implementación de estas funcionalidades. El prototipo obtenido como instancia de la arquitectura propuesta permitió demostrar que puede ser considerado como un referente en diferentes entornos académicos y empresariales.

Palabras clave: Arquitectura, SDN, SDR, Segmentación, Videostreaming.

Abstract: This article proposes the design of an architecture for the deployment of videostreaming services on a mobile network infrastructure taking into account the concepts of software-defined networks (SDN), software-defined radio (SDR) and network slicing, with the aim of being flexible and scalable. As the main contribution of this article, an architecture for the deployment and consumption of videostreaming services over mobile network infrastructure is presented based on software-defined networking and network slicing approaches. The proposed architecture was specified through the functional view and the implementation view, which defined the end-to-end functional modules of the videostreaming service, as well as the technologies used for the implementation of these functionalities. The prototype obtained as an

instance of the proposed architecture allowed us to demonstrate that it can be considered as a reference in different academic and business environments.

Keywords: Architecture, Network slicing, SDN, SDR, Video streaming.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica de los últimos años y la creciente adopción de tecnologías y servicios de comunicación provocaron un aumento continuo del número de abonados a la banda ancha móvil y la aparición de nuevos dispositivos inteligentes capaces de conectarse a la red (Ge et al., 2019; Nallappan et al., 2018; Saltarin et al., 2017; Shayea et al., 2020). Esto está provocando una gran congestión en las redes móviles debido al aumento exponencial del tráfico de información, lo que perjudica su rendimiento (Bonati et al., 2020; Perez et al., 2017; Xiao et al., 2020; Yan et al., 2018). Además, la inflexibilidad de la infraestructura de las redes convencionales las hace incapaces de responder a la creciente demanda de capacidad y mayor rendimiento de los datos. (Bonati et al., 2020; Castañeda Herrera et al., 2021).

Por tanto, es necesario mejorar la arquitectura de las redes tradicionales para hacer frente a la expansión en la adopción de tecnologías de comunicación y a las nuevas necesidades de las redes de nueva generación. Éstas pretenden cambiar el modelo de negocio tradicional con nuevos casos de uso lanzados por una amplia gama de mercados (Bonati et al., 2020; Khan et al., 2020; Song et al., 2019). Esta visión señala hacia un ecosistema de red flexible, dinámicamente programable y adaptable a diferentes requisitos, con características optimizadas para servir a un propósito concreto o a una categoría de servicios. Para ello, la tecnología 5G tiende hacia una arquitectura más inteligente, donde el uso del software y la virtualización de las redes son claves para la abstracción de los recursos de infraestructura y la entrega de redes como un servicio mejorado para cada caso de uso (Condoluci & Mahmoodi, 2018; Ghosh et al., 2019). En este sentido, tecnologías como SDN y Network Functions Virtualization (NFV) juegan un papel importante porque permiten la flexibilidad para satisfacer cada necesidad de servicio de forma personalizada (Barakabitze et al., 2020; Flores Moyano et al., 2020).

De acuerdo a lo anterior y considerando la brecha existente en las arquitecturas de red tradicionales, las cuales están enfocadas a una infraestructura inflexible que presenta limitaciones para el manejo adecuado de la demanda de tráfico en términos de capacidad y mayor rendimiento de datos, se propone

el diseño de una arquitectura para el despliegue de servicios basados en tecnología de video streaming (video bajo demanda, video en vivo) sobre una infraestructura de red móvil considerando los conceptos de SDN y SDR. Adicionalmente, sugerimos incluir las funcionalidades proporcionadas por la tecnología Network Slicing para hacerla flexible (Barakabitze et al., 2020; Zhang, 2019). Para describir la arquitectura presentada en este artículo, se definieron dos vistas (funcional y de implementación) basadas en lo presentado (Quiroga, Montoya et al., 2017). Los autores describen la arquitectura de un sistema hardware-software de telecomunicaciones considerando que el modelo arquitectónico de 4+1 vistas es más adecuado para la descripción del software. Las vistas propuestas describen los componentes de extremo a extremo de la cadena de valor de los servicios de streaming de vídeo a través de redes móviles, así como las tecnologías y herramientas seleccionadas para implementarlos. Nuestra arquitectura incluye hardware de propósito general, como el Universal Software Radio Peripheral (USRP), junto con software libre para la implementación de la Core Network (CN), la Radio Access Network (RAN), la tecnología Network Slicing y las funcionalidades de monitorización de red. La implementación de una prueba de concepto derivada de la arquitectura propuesta permitió demostrar que puede servir de referencia tanto para escenarios académicos como para proveedores de red en lo que respecta a la implementación de servicios de streaming de vídeo de alta calidad sobre la infraestructura de redes 5G. En esta misma línea, nuestra arquitectura pretende servir de contribución a los proveedores de servicios en la transición progresiva de una arquitectura de red basada en una infraestructura inflexible a una arquitectura de red flexible basada en SDN y SDR. Asimismo, a partir de las visiones definidas para esta arquitectura, es posible extrapolar la propuesta de realizar investigaciones relacionadas y desarrollar nuevos servicios sobre dicha infraestructura tecnológica.

El artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 presenta las fases metodológicas de esta investigación; la sección 3 muestra los resultados, que incluyen la descripción de la vista funcional y la vista de implementación, así como la prueba de

concepto de la arquitectura propuesta; y la sección 4 presenta las conclusiones.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo esta investigación, se definieron cuatro fases metodológicas (Figura 1): 1) Una exploración de tecnologías y herramientas; 2) La definición de la vista funcional a partir de la arquitectura; 3) La definición de la vista de implementación; y 4) El prototipo o prueba de concepto derivado de la arquitectura en base a lo presentado en (Chanchí et al., 2020; Quiroga, Montoya et al., 2017). En la fase 1, se exploró un conjunto de tecnologías y herramientas para conocer la configuración de la arquitectura. En la fase 2, se definió la vista funcional de la arquitectura propuesta, que incluye los módulos funcionales que componen la cadena de valor de extremo a extremo de los servicios de distribución de vídeo, como el vídeo a la carta. En la fase 3, se definió la vista de implementación, que describe las diferentes técnicas y tecnologías que permiten cumplir con las funcionalidades definidas en la fase 2. Por último, en la fase 4, se presentó una prueba de concepto de la arquitectura y se validó su pertinencia.

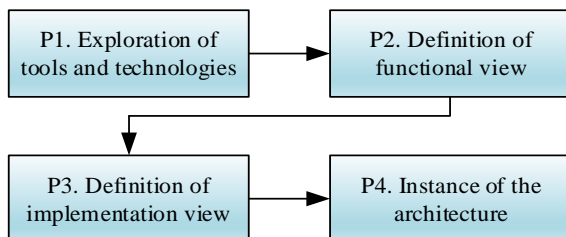


Fig. 1. Metodología estudiada

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Esta sección presenta los resultados obtenidos en esta investigación. Se describe la visión funcional y la visión de implementación de la arquitectura para el despliegue de servicios de streaming de vídeo en redes móviles basadas en RAN Definida por Software (SD-RAN) y Network Slicing. Asimismo, considerando que una de las formas de validar la pertinencia de la arquitectura es desarrollar prototipos derivados de la misma (Capilla et al., 2020), presentamos una prueba de concepto que nos permite hacerlo.

3.1 Vista funcional

La vista funcional de la arquitectura describe diferentes módulos (Figura 2) y pueden distinguirse tres dominios principales: (1) proveedor de servicios, (2) proveedor de red y (3) cliente. Los módulos funcionales que componen estos dominios

representan la cadena de valor del servicio de streaming de vídeo desplegado en redes móviles.

Esta arquitectura contempla la distribución de contenidos de vídeo soportados por la norma Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH); una norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO) definida para la transmisión de vídeo a través de redes móviles inalámbricas. (Kua et al., 2017). En el ámbito del proveedor de servicios, una base de datos de vídeo almacena los contenidos ofrecidos al cliente. La fuente de información puede ser un proveedor de contenidos externo. Los archivos multimedia se llevan a un módulo codificador de flujo DASH encargado de segmentarlos y codificarlos en distintas calidades. Los segmentos de vídeo codificados se almacenan en un servidor web, que a su vez los distribuye al cliente. Para ello, el codificador DASH define un archivo de manifiesto denominado Media Presentation Description (MPD), que describe el contenido multimedia, las calidades y cómo se divide en segmentos en función del ancho de banda disponible en el lado del cliente. Este descriptor es necesario para sincronizar la comunicación con el cliente y servir el contenido según sea necesario. Además, el dominio del proveedor de red se encarga de proporcionar una pasarela para la comunicación de extremo a extremo entre el cliente y el servidor. En este caso, una red móvil celular se basa en una arquitectura soportada por el protocolo IP. Los módulos funcionales que componen la red móvil son el CN y la SD-RAN. El CN realiza las tareas de registro y autenticación de los equipos terminales de usuario a través de los componentes del submódulo de gestión de movilidad y otras tareas del plano de control como la gestión de sesiones, el seguimiento y localización del terminal de usuario y el establecimiento de conexiones terminal-red. Los nodos SPGW-C y SPGW-U se encargan de dar servicio y conectividad al abonado a través de una red interna de paquetes de datos que permite la comunicación con redes externas (Habibi et al., 2019). Representan la frontera entre el CN y la RAN y se dividen en dos entidades para permitir la separación del plano de control del plano de usuario (Estrada-Solano et al., 2017). Esta característica supone una mejora estructural en la arquitectura ya que favorece la reducción de la latencia en el plano de usuario (Mohammadkhan et al., 2020).

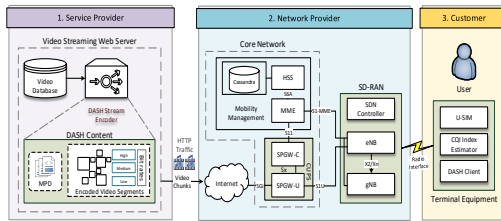


Fig. 2. Vista funcional de la arquitectura

El módulo SD-RAN está compuesto por el submódulo Evolved Node B (eNB), el submódulo Next Generation Node B (gNB) y el controlador SDN. El eNB y el gNB constituyen las estaciones base de la red móvil, que funcionan sobre la base de tecnologías de acceso radioeléctrico, así como de protocolos de comunicación 4G y 5G, respectivamente. Es decir, una arquitectura 5G no estandarizada (NSA) en la que la comunicación entre el equipo terminal y la antena se realiza mediante protocolos 5G. Sin embargo, la comunicación de datos con redes externas se crea utilizando tecnología 4G. El nodo eNB sirve de puente para la comunicación en el plano de control entre el CN y el gNB de la red móvil. Tanto el eNB como el gNB transmiten paquetes IP desde y hacia los UE junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar el funcionamiento de la interfaz de radio. Esta última se apoya en el paradigma SDR; se basa en una tecnología que permite implementar el software en los componentes de hardware de la interfaz de radiofrecuencia, incluidos moduladores, mezcladores y filtros (Papa et al., 2022). Por último, el submódulo controlador SDN implementa las funcionalidades del paradigma SDN en el dominio RAN que permite separar el plano de datos y el de control. Este último se consolida en una entidad lógicamente centralizada denominada controlador, que facilita la programabilidad flexible y la coordinación de la RAN y permite supervisar, reconfigurar y controlar el estado de la RAN.

Por último, el dominio del cliente está formado por el módulo de equipo terminal. Aquí, el submódulo U-SIM se encarga de almacenar los datos de identificación del cliente para su registro y autenticación en la red móvil. En el submódulo cliente DASH, son necesarios un decodificador MPD y un reproductor de vídeo para utilizar el servicio de streaming de vídeo. El decodificador permite interpretar los descriptores del contenido de vídeo presentes en el lado del servidor. Para acceder al contenido multimedia, el cliente elige la calidad de cada segmento de contenido y lo descarga secuencialmente mediante el protocolo HTTP. Esta petición se realiza en función del estado del canal que experimenta el equipo terminal en el enlace

radio. Para ello, el submódulo estimador del índice Channel Quality Indicator (CQI) estima el ancho de banda medio disponible representado en un índice que indica a la estación base qué nivel de modulación y codificación debe utilizar para garantizar la comunicación con el equipo terminal. Este CQI se asigna a un segmento de vídeo codificado a una velocidad que permita mantener un acuerdo de nivel de servicio. Para ello, se debe generar un canal de comunicación entre el cliente y el servidor a través de la aplicación navegador web del UE, utilizando el protocolo TCP, que le permita comunicar al servidor el segmento de vídeo y la calidad requerida para consumir el contenido de vídeo.

3.2 Vista de la implementación

Esta sección presenta la vista de implementación de la arquitectura. Presentamos los componentes de hardware y software seleccionados para la implementación de los módulos funcionales de extremo a extremo definidos en la vista funcional de la arquitectura (véase la Figura 3). En el ámbito del proveedor de servicios, el módulo de servidor web de streaming de vídeo se implementa utilizando el servidor web de contenidos MPEG-DASH alojado en (Akamai CDN, 2020). Esto proporciona un conjunto de vídeos de prueba segmentados y codificados a diferentes calidades con sus respectivos MPD para experimentar con la tecnología de streaming en directo y a la carta. Para acceder al servicio de streaming de vídeo desde el equipo terminal del usuario, se utilizó el cliente DASH de código abierto, proporcionado por DASH Industry Forum (DASH Industry Forum, 2012). Este cliente web, generalmente compuesto por un intérprete de archivos MPD y un reproductor de contenidos MPEG-DASH, puede reproducir contenidos DASH alojados en cualquier servidor web basado en su MPD. Para implementar un servidor web de streaming de vídeo, se recomienda utilizar los paquetes de software libre y de código abierto NGINX (Kong et al., 2020) y FFMPEG (Yang et al., 2020). FFMPEG actúa como transcodificador y permite codificar archivos multimedia. NGINX es un servidor web/proxy inverso que dispone de un módulo basado en el protocolo de mensajería en tiempo real (RTMP) que permite la comunicación en tiempo real con el nodo transcodificador. Este servidor web puede configurarse para transmitir el flujo de vídeo recibido utilizando los protocolos DASH o HTTP Live Streaming (HLS). La fuente de información puede basarse en una base de datos de vídeo alojada en el sitio web, para su consumo bajo demanda, o en una fuente de vídeo en directo. Para esto último, se

sugiere utilizar el software OBS Studio (Hayaty et al., 2021), una herramienta de código abierto que permite transmitir vídeo en directo desde una estación de trabajo al servidor NGINX. Recibe esta información a través del protocolo RTMP y la retransmite utilizando DASH o HLS.

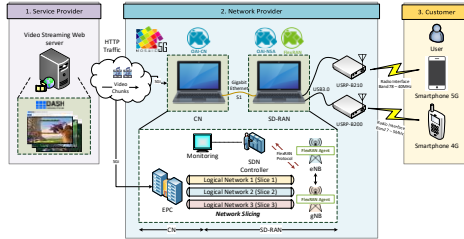


Fig. 3. Vista de la implantación de la arquitectura

Para gestionar la comunicación cliente-servidor y la distribución de contenidos, se implementa una red móvil basada en la arquitectura 5G NSA en el dominio del proveedor de red. Los elementos que componen los módulos CN y SD-RAN a nivel de software se han construido utilizando herramientas de código abierto. Para ello, la plataforma de software Mosaic-5G fue usada (Wiranata et al., 2020). Esta plataforma proporciona paquetes de instalación que permiten la implementación de la CN y la RAN en sistemas informáticos con un sistema operativo basado en Linux. La distribución recomendada es Ubuntu 18.04.5 LTS o versiones posteriores. Los paquetes de instalación OpenAirInterface (OAI)-CN, OAI-RAN y OAI-5G-NSA implementan los elementos de software que componen la CN, la RAN basada en 4G y la RAN basada en NSA 5G, respectivamente. Un cuarto paquete de instalación denominado FlexRAN permite implementar el paradigma SDN en el dominio RAN. Con ello, se consigue la separación del plano de datos y de control, permitiendo la programabilidad flexible y la coordinación de la RAN desde un nodo controlador lógicamente centralizado, que tiene una visión generalizada de la RAN. Es decir, una SD-RAN. Esta plataforma de software dispone de un conjunto de herramientas como Software Development Kit y Application Programming Interface que facilitan la creación e implementación de aplicaciones para monitorizar, controlar y coordinar el estado de la RAN, además de recoger datos estadísticos y gestionar dinámicamente los recursos radio disponibles en tiempo de ejecución.

Gracias a la programabilidad que introduce SDN en el plano de control de la RAN y a las herramientas de software proporcionadas por la plataforma FlexRAN, se implementaron las funcionalidades de la tecnología Network Slicing en el dominio RAN. De este modo, es posible crear redes lógicas

virtualmente independientes alojadas en la misma infraestructura de red. Los recursos de ancho de banda o bloques de recursos disponibles se gestionan a través del controlador SDN y se asignan a cada red virtual según sea necesario para mantener un nivel adecuado de calidad de servicio (QoS) para el consumo de servicios de streaming de vídeo. La interfaz de radiofrecuencia de las estaciones base del módulo SD-RAN está soportada en el paradigma SDR. Para su implementación se ha utilizado hardware de propósito general como el USRP (Izydorczyk et al., 2019); en particular el Ettus Research USRP (modelo B210) (Ettus Research, 2023) y antenas de transmisión como portadoras ascendentes y descendentes en la banda 7 (Fc: 2600MHz and Bw: 10MHz) y la banda 78 (Fc: 3500 MHz and Bw: 40MHz) para 4G y 5G NSA, respectivamente. Estos dispositivos realizan el procesamiento de señales relacionado con la capa física. Cabe señalar que estas plataformas de código abierto han creado un campo de experimentación en la comunidad académica e industrial, permitiendo así la implantación y prueba de nuevos algoritmos para la asignación de recursos, la creación y gestión de redes lógicas en Network Slicing. También podrían utilizarse para probar nuevas tecnologías como el Multi-access Edge Computing (MEC), que permiten implementar mecanismos para optimizar la entrega de contenidos de vídeo o de servicios sensibles al retardo en general. Todos los participantes están en el camino hacia la normalización, adopción e implantación de la 5G.

Por último, en el dominio del cliente se requiere un teléfono inteligente compatible con las tecnologías inalámbricas 4G y 5G. Para su identificación, autenticación y registro en la red móvil, se utilizó una tarjeta sim programable (una tarjeta Sysmocom Sysmosim-SJS1-4FF). Para su parametrización, se utilizó un programador de referencia PC/SC Smart-Card USB-CCID ISO7816 y el software Pysim (Osmocom.org, 2017). Para el consumo del servicio de streaming de vídeo, se ha utilizado un navegador web para acceder al cliente DASH disponible en (DASH Industry Forum, 2012). A partir de ahí, es posible seleccionar una fuente de vídeo en directo o a la carta que ya haya sido codificada a diferentes velocidades para proporcionar el servicio de transmisión de vídeo soportado en el protocolo DASH.

Así, la vista permite la implementación de una prueba de concepto derivada de esta arquitectura; se describe un proceso detallado en (Chavez Picon et al., 2021).

3.3 Prototipo funcional de la arquitectura

Para validar la relevancia de la arquitectura propuesta en este trabajo, se ha implementado una prueba de concepto. En ella se muestran los resultados de rendimiento obtenidos en el enlace descendente desde la red móvil celular al consumir vídeos en el servicio de streaming bajo demanda desplegado desde el dominio del proveedor. Para acceder a este servicio se ha utilizado un equipo terminal de usuario ubicado en el dominio del cliente y compatible con tecnologías inalámbricas 4G. La figura 4 muestra el prototipo de servicio construido a partir de la arquitectura definida en este artículo.

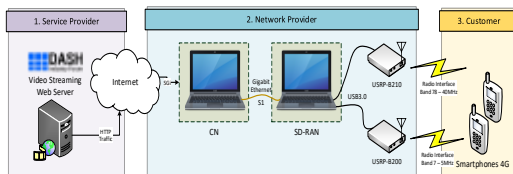


Fig. 4. Vista del prototipo de aplicación

En el dominio del proveedor de red, el paradigma SDN se implementó en la RAN de la red móvil celular, así como las funcionalidades de la tecnología Network Slicing. Desde el controlador SDN, se crearon dos redes lógicas virtualmente independientes y se etiquetaron como Ranura 0 y Ranura 2. A cada una se le asignó un porcentaje diferente de ancho de banda: el 70 por ciento del ancho de banda total disponible en el enlace descendente para la Ranura 2, y el 30 por ciento para la Ranura 0. El sistema dispone de un total de 50 Resource Blocks (RB) equivalentes a 10MHz de ancho de banda total para el enlace descendente. Cada equipo terminal de usuario se ha asociado a una red lógica diferente.

La plataforma informática Mosaic-5G (Wiranata et al., 2020) proporciona aplicaciones de demostración que permiten interactuar con el sistema SD-RAN para programar el plano de control y supervisar la red. La aplicación "DRONE" se utilizó para visualizar gráficamente el estado de ejecución de la SD-RAN en un navegador web. Asimismo, se utilizó la aplicación "mac_rate_app" para obtener el throughput de la red móvil en el enlace descendente. La Figura 5 muestra el diagrama SD-RAN generado por la aplicación. Muestra específicamente el lado de la RAN que contiene la cadena de valor: Controlador SDN, estación base 4G y el equipo terminal de usuario asociado a dicha estación. Este último se identifica con el código "International Mobile Subscriber Identity" (IMSI) 208950000000001 y 208950000000002.

Una vez autenticado y registrado en la red móvil, el equipo terminal de usuario se asigna a una "ranura"

diferente para el enlace descendente. El equipo terminal identificado con la IMSI 208950000000002 se asignaba a la Ranura 0, y el identificado con la IMSI 208950000000001 a la Ranura 2.

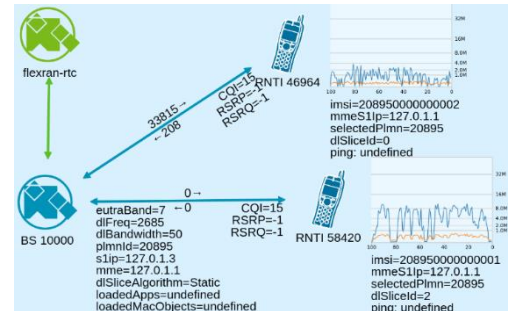


Fig. 5. Diagrama SD-RAN generado con la aplicación DRONE

Además, es posible observar un gráfico del rendimiento experimentado por la red móvil junto a cada equipo terminal de usuario en el enlace ascendente y en el enlace descendente para cada Ranura. Cabe destacar que las funcionalidades de Network Slicing no se aplicaron al canal del enlace ascendente (no se segmentó la red). Ambos tipos de equipos terminales comparten el mismo canal en el enlace ascendente. La Figura 6 muestra el comportamiento del rendimiento (a) en la Ranura 0 y (b) en la Ranura 2. También indica que el rendimiento medio experimentado por la Ranura 0 es menor que el alcanzado por la Ranura 2. Dado que la asignación de recursos ha sido asimétrica, la Ranura 2 dispone de más recursos de ancho de banda, el 70% del total disponible (50 RB), lo que permite mayores tasas de transferencia.

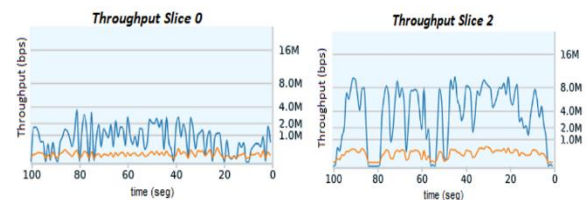


Fig. 6. Supervisión del rendimiento del enlace descendente

a partir de los resultados anteriores, es posible concluir que el prototipo derivado de la arquitectura basada en SDN y SDR permite manejar adecuadamente altas tasas de transferencia (similares a las del tráfico real de los servicios de vídeo actuales). Esto representa una ventaja competitiva para los proveedores de servicios de red respecto a las arquitecturas tradicionales basadas en infraestructuras de red inflexibles.

Finalmente, la Figura 7 muestra imágenes que validan el consumo del servicio de streaming de vídeo bajo demanda desde el dominio del cliente a través del equipo terminal del usuario. Para ello se utiliza el cliente DASH proporcionado por DASH Industry Forum (DASH Industry Forum, 2012) a través de la aplicación de navegador Firefox.

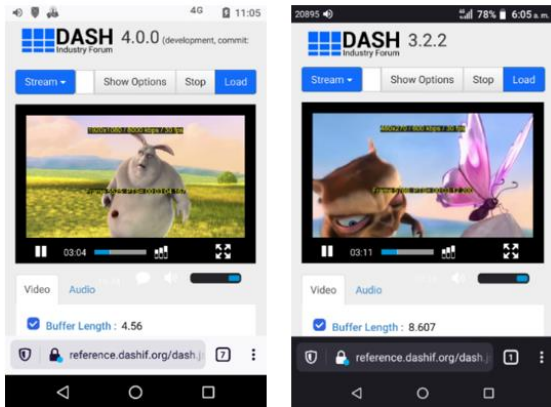


Fig. 7. Consumo del servicio de streaming de vídeo a la carta de cada equipo terminal de usuario

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la carencia existente en las arquitecturas de red tradicionales en relación con las limitaciones de la infraestructura inflexible para el manejo adecuado de la demanda de tráfico en términos de capacidad y mayor rendimiento de datos, la principal contribución de este trabajo es una arquitectura para redes móviles basada en SD-RAN y hardware de propósito general. Además, proponemos Network Slicing para dar soporte al servicio de streaming de vídeo. Nuestra arquitectura está representada por dos puntos de vista: el funcional y el de implementación. Cada uno incluye los componentes de extremo a extremo de la cadena de consumo y distribución de servicios de streaming de vídeo.

La prueba de concepto derivada de la arquitectura propuesta nos permitió demostrar que puede ser tomada como referencia para la construcción de servicios de distribución y consumo de vídeo streaming de alta calidad sobre redes móviles utilizando SDN y Network Slicing. En este sentido, partiendo de las visiones definidas para la arquitectura desde la comunidad académica y empresarial, es posible extrapolar esta propuesta para desarrollar investigaciones relacionadas y nuevos servicios sobre la infraestructura tecnológica descrita.

Los resultados obtenidos en las pruebas de throughput realizadas con el prototipo derivado de

la arquitectura confirmaron que, respecto a la arquitectura tradicional basada en infraestructura inflexible, nuestra arquitectura permite manejar adecuadamente altas tasas de transferencia, por ejemplo, las asociadas al tráfico de los actuales servicios de vídeo bajo demanda. Así, se pretende que sirva de referencia para la transición de una arquitectura basada en infraestructura inflexible a una infraestructura flexible basada en SDN y SDR.

Para futuros trabajos, nos proponemos vincular la tecnología MEC a la arquitectura para dotarla de capacidades informáticas y de un entorno de servicios en el borde de la red. Se abre así un campo para el desarrollo y la implantación de aplicaciones en el borde de la RAN que optimicen y proporcionen contenidos multimedia en función de las condiciones del canal de comunicación que experimente el equipo terminal del usuario. Esto ayuda a reducir significativamente la latencia en la prestación de servicios.

También se pretende ampliar la red para crear escenarios con múltiples estaciones base basadas en tecnología SDR y dispositivos USRP, y entornos multicelda para la experimentación con algoritmos de handover gestionados desde el controlador SDN.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad del Quindío y a la Universidad de Cartagena por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Akamai CDN. (2020). *Index of /129021/dash*. <https://dash.akamaized.net/>
- Barakabitze, A. A., Ahmad, A., Mijumbi, R., & Hines, A. (2020). 5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges. *Computer Networks*, *167*, 106984. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.106984>
- Bonati, L., Polese, M., D'Oro, S., Basagni, S., & Melodia, T. (2020). Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks: State-of-the-Art and the Road Ahead. *Computer Networks*, *182*, 107516. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2020.107516>
- Capilla, R., Zimmermann, O., Carrillo, C., & Astudillo, H. (2020). *Teaching Students*

- Software Architecture Decision Making* (pp. 231–246). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58923-3_16
- Castañeda Herrera, L. M., Campo-Muñoz, W. Y., & Torres, A. D. (2021). Video Streaming Service Identification on Software-Defined Networking. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL*, *16*(5). <https://doi.org/10.15837/ijccc.2021.5.4258>
- Chanchí, G. E., Saba, M., & Monroy, M. (2020). Propuesta de una arquitectura software basada en realidad virtual para el desarrollo de aplicaciones de turismo cultural. *Revista Iberica de Sistemas y Tecnologías de La Información*, *E36*, 157–170. <https://search.proquest.com/openview/b430732f75468b4f06bba1d323941f99/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Chavez Picon, J. L., Campo, W. Y., & Golondrino Chanchí, G. E. (2021). Construcción de un banco de pruebas para redes 5G basado en SDN y SDR. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, *E42*, 425–437.
- Condoluci, M., & Mahmoodi, T. (2018). Softwarization and virtualization in 5G mobile networks: Benefits, trends and challenges. *Computer Networks*, *146*, 65–84. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.09.005>
- DASH Industry Forum. (2012). *Software*. <https://dashif.org/software/>
- Estrada-Solano, F., Ordonez, A., Granville, L. Z., & Caicedo Rendon, O. M. (2017). A framework for SDN integrated management based on a CIM model and a vertical management plane. *Computer Communications*, *102*, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.08.006>
- Ettus Research. (2023). <https://kb.ettus.com/B200/B210/B200mini/B205mini>. <https://kb.ettus.com/B200/B210/B200mini/B205mini>
- Flores Moyano, R., Fernandez, D., Merayo, N., Lentisco, C. M., & Cardenas, A. (2020). NFV and SDN-Based Differentiated Traffic Treatment for Residential Networks. *IEEE Access*, *8*, 34038–34055. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974504>
- Ge, C., Wang, N., Selinis, I., Cahill, J., Kavanagh, M., Liolis, K., Politis, C., Nunes, J., Evans, B., Rahulan, Y., Nouvel, N., Boutin, M., Desmouts, J., Arnal, F., Watts, S., & Poziopoulou, G. (2019). QoE-Assured Live Streaming via Satellite Backhaul in 5G Networks. *IEEE Transactions on Broadcasting*, *65*(2), 381–391. <https://doi.org/10.1109/TBC.2019.2901397>
- Ghosh, A., Maeder, A., Baker, M., & Chandramouli, D. (2019). 5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology beyond 3GPP Release 15. *IEEE Access*, *7*, 127639–127651. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939938>
- Habibi, M. A., Nasimi, M., Han, B., & Schotten, H. D. (2019). A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System. *IEEE Access*, *7*, 70371–70421. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919657>
- Hayaty, M., Wahyuni, S. N., Istiningsih, Putra, A. D., Maemunah, M., Satya, B., & Nurani, D. (2021). Pelatihan Pembuatan Konten Pembelajaran Menggunakan Open Broadcast Software. *Abdiformatika: Jurnal Pengabdian Masyarakat Informatika*, *1*(2), 61–67. <https://doi.org/10.25008/abdiformatika.v1i2.142>
- Izydorczyk, T., Tavares, F. M. L., Berardinelli, G., & Mogensen, P. (2019). A USRP-Based Multi-Antenna Testbed for Reception of Multi-Site Cellular Signals. *IEEE Access*, *7*, 162723–162734. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952094>
- Khan, M. U., Garcia-Armada, A., & Escudero-Garzas, J. J. (2020). Service-Based Network Dimensioning for 5G Networks Assisted by Real Data. *IEEE Access*, *8*, 129193–129212. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3009127>
- Kong, S., Lu, M., Li, L., & Gao, L. (2020). Runtime Monitoring of Software Execution Trace: Method and Tools. *IEEE Access*, *8*, 114020–114036. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003087>
- Kua, J., Armitage, G., & Branch, P. (2017). A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, *19*(3), 1842–1866. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2685630>
- Mohammadkhan, A., Ramakrishnan, K. K., & Jain, V. A. (2020). CleanG - Improving the Architecture and Protocols for Future Cellular Networks with NFV. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, *28*(6), 2559–

2572.
<https://doi.org/10.1109/TNET.2020.3015946>
- Nallappan, K., Guerboukha, H., Nerguizian, C., & Skorobogatiy, M. (2018). Live streaming of uncompressed HD and 4K videos using terahertz wireless links. *IEEE Access*, 6, 58030–58042.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873986>
- Osmocom.org. (2017). *pysim*.
<https://gitea.osmocom.org/sim-card/pysim>
- Papa, A., Jano, A., Ayvasik, S., Ayan, O., Gursu, H. M., & Kellerer, W. (2022). User-Based Quality of Service Aware Multi-Cell Radio Access Network Slicing. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 19(1), 756–768.
<https://doi.org/10.1109/TNSM.2021.3122230>
- Perez, S. C., Facchini, H. A., Marrone, L., & Hidalgo, F. A. (2017). Experimental Study of Multicast and Unicast Video Traffic in WAN Links. *IEEE Latin America Transactions*, 15(10), 1847–1855.
<https://doi.org/10.1109/TLA.2017.8071226>
- Quiroga, Montoya, E. A., Fernando, S., Colorado, J., Yesid, W., Muñoz, C., Elías, G., & Golondrino, C. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 24, 39–56. <https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>
- Saltarin, J., Bourtsoulatze, E., Thomos, N., & Braun, T. (2017). Adaptive Video Streaming with Network Coding Enabled Named Data Networking. *IEEE Transactions on Multimedia*, 19(10), 2182–2196.
<https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2737950>
- Shayea, I., Ergen, M., Azmi, M. H., Nandi, D., El-Salah, A. A., & Zahedi, A. (2020). Performance Analysis of Mobile Broadband Networks with 5G Trends and Beyond: Rural Areas Scope in Malaysia. *IEEE Access*, 8, 65211–65229.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2978048>
- Song, S., Jung, J., Choi, M., Lee, C., Sun, J., & Chung, J. M. (2019). Multipath Based Adaptive Concurrent Transfer for Real-Time Video Streaming over 5G Multi-RAT Systems. *IEEE Access*, 7, 146470–146479.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945357>
- Wiranata, F. A., Shalannanda, W., Mulyawan, R., & Adiono, T. (2020). Automation of Virtualized 5G Infrastructure Using Mosaic 5G Operator over Kubernetes Supporting Network Slicing. *2020 14th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/TSSA51342.2020.9310895>
- Xiao, A., Huang, X., Wu, S., Chen, H., & Ma, L. (2020). Traffic-Aware Rate Adaptation for Improving Time-Varying QoE Factors in Mobile Video Streaming. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 7(4), 2392–2405.
<https://doi.org/10.1109/TNSE.2020.3013533>
- Yan, H., Lin, T. H., Gao, C., Li, Y., & Jin, D. (2018). On the Understanding of Video Streaming Viewing Behaviors Across Different Content Providers. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 15(1), 444–457.
<https://doi.org/10.1109/TNSM.2017.2785298>
- Yang, P., Baracchi, D., Iuliani, M., Shullani, D., Ni, R., Zhao, Y., & Piva, A. (2020). Efficient Video Integrity Analysis through Container Characterization. *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 14(5), 947–954.
<https://doi.org/10.1109/JSTSP.2020.3008088>
- Zhang, S. (2019). An Overview of Network Slicing for 5G. *IEEE Wireless Communications*, 26(3), 111–117.
<https://doi.org/10.1109/MWC.2019.1800234>