

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL NÚCLEO DE UNA RED MÓVIL LTE VIRTUALIZADA

Lic. José Antonio León Martínez

Centro de Estudios de Telecomunicaciones e Informática (CETI), Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA
Calle 114, No. 11901, e/ Ciclo Vía y Rotonda Mariano, La Habana, CP 19390
e-mail: jose.leon@etecsa.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito presentar una propuesta de virtualización del núcleo de la red LTE (*Long Term Evolution*) empleando software libre. Para ello se parte de las características fundamentales de las redes móviles LTE centrándose en los detalles del núcleo de red en el plano de usuario y plano de control. A continuación, se analizan dos proyectos de software libre que están basados en la implementación del núcleo de red virtualizado (Magma Core y OMEC) y, aplicando métodos comparativos, se selecciona el más adecuado. Como resultado se obtiene que la solución Magma Core es la más adecuada para la implementación del núcleo de red LTE virtualizado por los resultados obtenidos en un conjunto de indicadores. Se destaca la flexibilidad de su arquitectura, su mejor relación eficiencia / costo y su posibilidad de despliegue como núcleo de una red LTE en distintos escenarios. Finalmente, se implementó el componente AGW (*Access Gateway*) de la solución escogida (Magma Core) que representa un *Evolved Packet Core* (EPC) en un ambiente virtual de laboratorio lo que permitió comprobar sus posibilidades como EPC virtualizado.

PALABRAS CLAVES: LTE, AGW, EPC

PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF THE CORE OF A VIRTUALIZED LTE MOBILE NETWORK

ABSTRACT

The purpose of this work is to present a proposal for the virtualization of the core of the LTE network using free software. To do this, we start from the fundamental characteristics of LTE mobile networks, focusing on the details of the network core at the user plane and control plane. Next, two free software projects that are based on the implementation of the virtualized network core (Magma Core and OMEC) are analyzed, and applying comparative methods, the most appropriate is selected. As a result, it is obtained that the Magma Core solution is the most suitable for the implementation of the virtualized LTE network core due to the results obtained in a set of indicators, highlighting the flexibility of its architecture, its best efficiency/cost ratio and its possibility of deployment. as the core of an LTE network in different scenarios. Finally, the AGW (*Access Gateway*) component of the chosen solution (Magma Core) that represents an *Evolved Packet Core* (EPC) was implemented in a virtual laboratory environment, which allowed us to verify its possibilities as a virtualized EPC.

INDEX TERMS: LTE, AGW, EPC

1. INTRODUCCIÓN

La virtualización de red abstrae elementos de la infraestructura de telecomunicaciones que tradicionalmente se proporcionan como *hardware*, y los convierte en una solución basada en *software*. La virtualización de la red aporta flexibilidad en la configuración, capacidades de gestión mejoradas, seguridad y ahorro de costos, entre otros beneficios. En la actualidad la virtualización del núcleo de red está dirigido al EPC del sistema LTE. El EPC virtual (vEPC) es una solución completa de núcleo de paquetes LTE basada en la tecnología de virtualización de funciones de red (NFV). El vEPC puede acortar el tiempo de comercialización del nuevo servicio, construir un ecosistema abierto y estimular la innovación de servicios [1]. La virtualización es un concepto que se viene desarrollando desde hace varios años, sobre la comprensión de este concepto como base, se pudo ampliar el conocimiento de las soluciones que se plantean en este artículo [2].

Existen muchos tipos de virtualización, la Virtualización de funciones de red (NFV *Network Function Virtualization*) es una tecnología muy usada hoy para garantizar los servicios en las redes de Telecomunicaciones. Existen publicaciones donde se mencionan las ventajas de esta tecnología. En las instalaciones de los operadores de red reside una vasta y creciente cantidad de hardware propietario. El ofrecer un nuevo servicio de red requiere, muy a menudo, de la instalación de nuevo hardware, lo que implica incurrir en nuevos costos de adquisición, instalación, operación, locación y energía. Estos costos sumados a los de formación de personal idóneo, hacen difícil y poco rentable la innovación en servicios de red.

Además, el hardware propietario llega rápidamente al fin de su vida útil con poco beneficio económico para los operadores de red, restringiéndoles la capacidad de innovación en un mundo ávido de recibir nuevos servicios centrados en el Internet. De esta forma se resume muy concretamente la importancia de virtualizar [3]. Además, aparecen otros paradigmas emergentes como la computación en la nube, redes definidas por software (SDN, *Software Defined Network*) que están relacionada con la virtualización de funciones de red. En este paradigma se plantean nuevas posibilidades para la gestión de los recursos físicos y lógicos de las infraestructuras de red, con un impacto positivo en términos de agilidad y costo. [4].

Sobre este tema ha sido muy extensa la literatura publicada relacionada con la idea que se plantea en este artículo. Existen publicaciones diversas donde se han propuesto soluciones novedosas y completas para planificar segmentos de red de LTE EPC, adaptada al caso de uso mejorado de banda ancha móvil [5]. No se ha pasado por alto en este artículo un indicador muy importante que se considera que la solución virtual garantice una adecuada calidad del servicio (QoS, *Quality of Service*). Se consultaron otros trabajos sobre el análisis de una red LTE variando el número de equipos de usuario, modelo de propagación, *scheduler* y el modelo de movilidad [6]. En esta dirección, existen varias publicaciones que brindan una panorámica de las tecnologías LTE y su evolución hacia LTE-*Advanced*, como referentes de la cuarta generación de móviles (4G), actualmente la más difundida, y sobre cuya base continua un marcado proceso de desarrollo e innovación [7].

El presente trabajo tiene como objetivo virtualizar el núcleo de una red móvil. Para ello se analizan y comparan dos de los proyectos existentes basados en software libre que implementan el núcleo de red LTE virtual teniendo en cuenta sus características fundamentales y facilidades de implementación lo que permite proponer cual es el más adecuado.

2. LTE (LONG TERM EVOLUTION)

LTE constituye el estándar de las comunicaciones móviles de 4ta generación desarrollado por el 3GPP, reflejado en su *Release 8* y completado en el 2008. Uno de los elementos que se perseguía con este salto generacional era la simplificación de la estructura de la red. Por ello, se optó por una arquitectura plana que permitiera reducir al mínimo el número de nodos implicados en la conmutación de paquetes de datos, optimizando de esta manera el control de flujo de tráfico desde y hacia el usuario. LTE, tecnología de radio de alta capacidad, es también conocida como 4G LTE o comercialmente como 4G [8].

Tal como se puede ver en la Fig. 1, la arquitectura de un sistema LTE está compuesta por equipos de usuarios (UE, *User Equipment*) que acceden a la red LTE a través de un sistema de acceso a radio evolucionado, también llamado “*Evolved Radio Access Network (EUTRAN)*”. Este sistema posee un único elemento, la estación base llamada en LTE eNodeB. Todo el sistema radio LTE está controlado por el EPC (*Evolved Packet Core*) formado, generalmente cinco elementos, clasificados en panel de control (*Control Plane*) y panel de usuario (*User Plane*) dependiendo de la función que realiza cada elemento [9].

Núcleo de red LTE (EPC *Evolved Packet Core*)

Como se observa en la Fig. 1 los elementos que constituyen el núcleo de la red LTE son: MME y HSS que corresponden al panel de control y S-GW, PDN-GW y PCRF en el panel de usuario. La función de cada uno de ellos dentro del sistema LTE se encuentra a continuación [10].

Plano de control

MME (*Mobility Management Entity*): La Entidad de Gestión de Movilidad, constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de EUTRAN, por lo que cada usuario

registrado tiene asignado un MME. Las dos características que condicionan dicha asignación son: la ubicación geográfica del terminal en la red y los distintos criterios de balanceo de cargas.

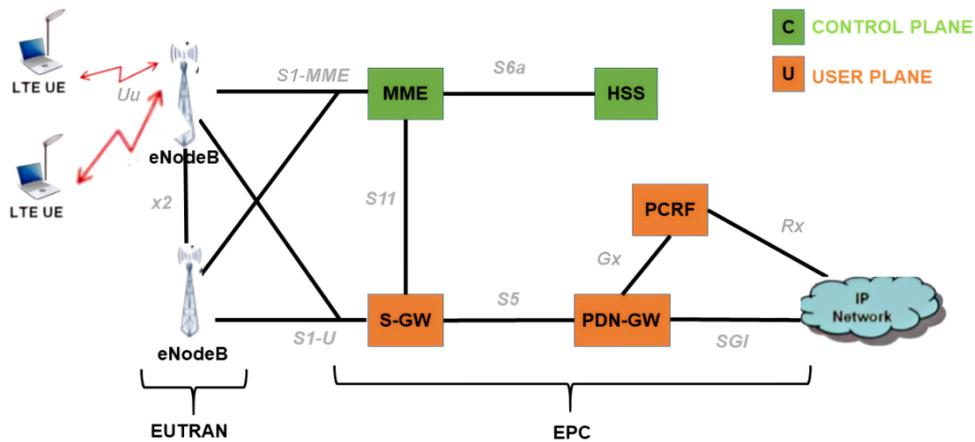


Figura 1: Arquitectura de red LTE [9].

HSS (Home Subscriber Service): El Servidor de Abonados Domésticos, es una base de datos central del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la suscripción del usuario como información necesaria para la propia operatividad de la red. Puede ser modificada y consultada desde cualquier entidad de red que se encargue de brindar servicios de conectividad incluyendo el acceso de los usuarios, como por ejemplo el MME. La información contenida en esta base de datos puede ser permanente, solo configurable mediante procesos administrativos, o temporal, variando en función en de la propia operación de la red. Los parámetros principales que lo componen son:

- IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*)
- MSISDN (*Mobile Station Integrated Services Digital Network*)

Plano de usuario

S-GW (Serving Gateway): Es uno de los nodos que gestiona el tráfico de datos de los usuarios y a su vez es el responsable de la conexión del EPC con la RAM (Random Access Memory) de LTE a nivel del plano de usuario, constituyendo una pasarela entre EUTRAN y EPC.

PDN-GW o P-GW (Packet Data Network Gateway): La puerta de enlace de red de datos de paquetes proporciona conectividad desde el equipo de usuario (UE) a redes de datos de paquetes (PDN) externas al ser su punto de salida y entrada de tráfico. Un equipo de usuario puede tener conectividad simultánea con más de una PDN-GW para acceder a múltiples redes de paquetes de datos. El PDN Gateway realiza aplicación de políticas, filtrado de paquetes para cada usuario, soporte de cobro, interceptación legal y detección de paquetes. Otra función clave del PDN-GW es actual como ancla para la movilidad entre tecnologías 3GPP y no 3GPP, como WiMAX y 3GPP2 (CDMA 1X y EvDO).

PCRF (Policy and charging rules Function): Es el nodo responsable de la gestión de calidad de servicio (Quality-of-Service, QoS) y la tarificación. Tiene la capacidad para gestionar la política de redes y suscriptores en tiempo real, así como de enrutar y priorizar el tráfico de red de manera eficiente y dinámica.

Protocolos de interfaces en el EPC

Las pilas de protocolos utilizadas en las distintas interfaces del EPC de LTE (ver Fig. 1) utilizan IP como capa de red a diferencia de generaciones anteriores [11].

Interfaces basadas en el protocolo GTP-U (GPRS Tunnel Protocol)

El protocolo GTP-U fue desarrollado por 3GPP para dar respuesta a la implementación del servicio GPRS, proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario (paquetes IP del usuario) entre nodos de una red IP. Los paquetes que corresponden a un mismo servicio portador EPS se transportan con un identificador de túnel único denominado TEID (Tunnel Endpoint Identifier).

Todas las interfaces para el transporte de información de plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U (ver Tabla 1), excepto la variante de la interfaz S5/S8 basada en PMIPv6. En la Tabla 1 se indica el uso de GTP-U también sobre las interfaces S4 y S12 que forman parte de la solución de *interworking* entre EPC y el resto de las redes 3GPP. Además, el protocolo GTP-U también se utiliza en el plano de usuario de las interfaces internas de E-UTRAN, S1-U y X2-U.

Tabla 1: Listado de interfaces basadas en GTP-U [11].

Interfaces	Nodos
S1-U	S-GW ↔ eNB
S5/S8	S-GW ↔ P-GW
S4	SGW ↔ SGSN
S12	RNC ↔ SGSN
X2-U	eNB ↔ eNB

El establecimiento de un túnel GTP-U consiste básicamente en la elección del identificador TEID asociado a un determinado servicio portador EPS en ambos extremos del túnel. La señalización necesaria para establecer el túnel se realiza mediante otros protocolos como GTP-C o S1-MME.

Interfaces basadas en el protocolo GTP - C (GPRS Tunnel Protocol)

Este protocolo GTP-C tiene dos funcionalidades que lo definen:

- Gestión de sesiones: A través de los mensajes y procedimientos de señalización especificados para GTP-C, la red gestiona la creación de túneles GTP-U entre las entidades de la red por donde transcurre el plano de usuario. Dichos túneles forman parte de la propia gestión de sesiones en la red, mediante el establecimiento, mantenimiento/actualización y liberación de conexiones PDN y servicios portadores EPS.
- Gestión de movilidad: Mediante el protocolo GTP-C se llevan a cabo algunos de los procedimientos asociados con la gestión de movilidad tales como la transferencia de los contextos de información de los usuarios entre las entidades de red en casos de reubicación de estas entidades.

Las interfaces del protocolo GTP-C se muestran en la Tabla 2 y abarcan más allá de la gestión de túneles GTP-U.

Tabla 2: Listado de interfaces basadas en GTP-C [11].

Interfaces	Nodos
S11	S-GW ↔ MME
S5/S8	S-GW ↔ P-GW
S10	MME ↔ MME
S3	MME ↔ SGSN
S4	S-GW ↔ SGSN
S16	SGSN ↔ SGSN

Interfaces basadas en Diameter:

Diameter es una evolución del protocolo RADIUS, inicialmente concebido para sustentar funciones de Autenticación, Autorización y Contabilización (AAA) (Authentication, Authorization, Accounting). Diameter mejora las prestaciones de su antecesor RADIUS en aspectos tales como seguridad, robustez a pérdidas de mensajes, así como en su extensibilidad que permite el uso del protocolo para aplicaciones fuera del ámbito de AAA.

Este protocolo se usa en un elevado número de interfaces presentes en el sistema LTE (ver Tabla 3). La transferencia de los mensajes entre nodos se realiza a través de un protocolo de transporte orientado a conexión como TCP (Transmission Control Protocol) o SCTP (Stream Transmission Control Protocol).

En la Tabla 3 las interfaces S13 y S'13 conectan la entidad EIR (Equipment Identity Register), una base de datos que contiene las identidades y características de los equipos móviles con el MME (Mobility Management Entity) y el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) que se encarga de manejar las funciones de control relativas a los servicios de conmutación en modo paquete. De otro modo las interfaces Gx, Gxa, Gxc, Rx y S9 conectan el PCRF con otras entidades del núcleo LTE en el plano de usuario, como se puede observar en la figura 1.

Tabla 3: Listado de interfaces basadas en Diameter [11].

Interfaces	Nodos
S6a, S6d	HSS ↔ MME, SGSN
SWx, STa, SWa, SWm, S6b, SWd	3GPP AAA Server ↔ HSS, Red no-3GPP segura, Red no-3GPP no segura, ePDG, P-GW, 3GPP AAA Proxy
Gx, Gxa, Gxc, Rx, S9	PCRF ↔ P-GW, S-GW, AF, PCRF
S13, S'13	EIR ↔ MME, SGSN

Entre las funcionalidades más comunes que presenta el protocolo se encuentran:

- Formatos de los mensajes y elementos de información genéricos.
- Mecanismos de transferencia de mensajes.
- Descubrimiento de capacidades de las entidades Diameter.
- Aspectos de seguridad.

2. SELECCIÓN DE UNA IMPLEMENTACIÓN DE CÓDIGO ABIERTO PARA VIRTUALIZAR EL NÚCLEO DE LA RED LTE

Para virtualizar el núcleo de la red LTE se planteó emplear software de código abierto por la seguridad e independencia tecnológica que proporciona. Para ello se realizó un análisis de dos existentes: *Open Mobile Evolved Core* (OMEC) y *Magma Core*. A continuación, las características más importantes de estas dos soluciones.

Open mobile evolved core (OMEC)

OMEC es uno de los primeros EPC desarrollado con software de código abierto. Es de alto rendimiento, escalable y está optimizado para manejar la avalancha de dispositivos que se deben conectar al emplearse 5G e IoT. Está diseñado para utilizarse como un EPC independiente y también es un proyecto ascendente para la plataforma COMAC (Converged Multi-Access and Core) que, entre otras cosas, integra funciones de administración de suscriptores móviles y fijos [12].

OMEC está construido sobre una arquitectura NFV que incluye:

- Capacidades completas de conectividad, facturación y carga.
- Compatibilidad con la versión 13 de 3GPP.
- Admisión de una gran cantidad de suscriptores con un plano de datos basado en DPDK de alto rendimiento.
- Optimización para implementaciones rentables, livianas y aplicaciones IoT.
- Capacidades integradas de prueba y verificación de CI/CD (integración continua/entrega o implementación continuas).

La Fig. 2 muestra la arquitectura de OMEC con todos sus componentes. El paquete OMEC es una implementación de referencia arquitectónica de Converged Telecom Core para implementar la infraestructura del Evolved Packet Core (EPC) integral.

Los repositorios constituyentes de OMEC son:

- Clean Control User Plane Separated Core Packet Optimized (C3PO)
- Next Generation Infrastructure Core (NGIC)
- Open Mobility Management Entity (OpenMME)
- FreeDIAMETER
- Operational Support System Utilities (OSS-Util)
- Intel-Labs Traffic Generator (IL_Trafficgen)

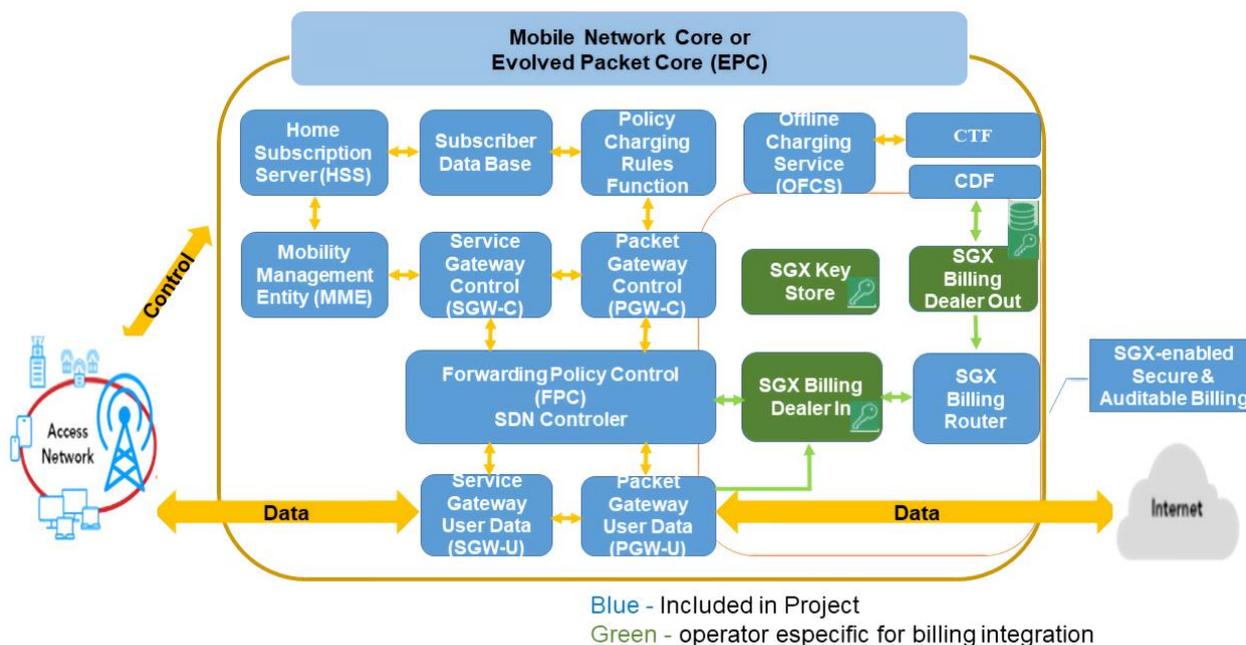


Figura 2: Arquitectura OMEC [12].

Magma Core

Magma es una plataforma de software de código abierto que brinda a los operadores de telecomunicaciones una solución de red central móvil abierta, flexible y escalable [13][14]. Esta herramienta de software está diseñada, como se aprecia en la Fig. 3, para ser independiente de la red de acceso, ya sea celular o WiFi. Igualmente, se puede admitir un acceso de radio con un mínimo esfuerzo de desarrollo e implementación. Además, cuenta con la capacidad de transmitir datos a través de funciones de red tanto virtuales como contenedores.

Las componentes principales de la Arquitectura Magma Core son:

- Access Gateway (AGW): Proporciona servicios de red y aplicación de políticas. En una red LTE, el AGW implementa un Evolved Packet Core (EPC) y una combinación de un AAA con un PGW. Funciona con hardware de radio comercial existente sin necesidad de modificarlo.
- Orchestrator: Servicio en la nube que proporciona una manera simple y consistente de configurar y monitorear la red inalámbrica (móvil) de manera segura. El orquestador se puede alojar en una nube pública o privada. Las métricas adquiridas a través este componente del Magma permiten ver los flujos de tráfico de los usuarios inalámbricos (móvil) a través de la interfaz de usuario web de Magma.
- Federation Gateway: Integra la red central de MNO (Mobile Network Operator) con Magma mediante el uso de interfaces 3GPP estándares para los componentes de MNO existentes. Actúa como un intermediario (proxy) entre Magma AGW y la red del operador y facilita las funciones principales, como la autenticación, los planes de datos, la aplicación de políticas y el cobro para mantener la uniformidad entre una red MNO existente y la red ampliada con Magma.

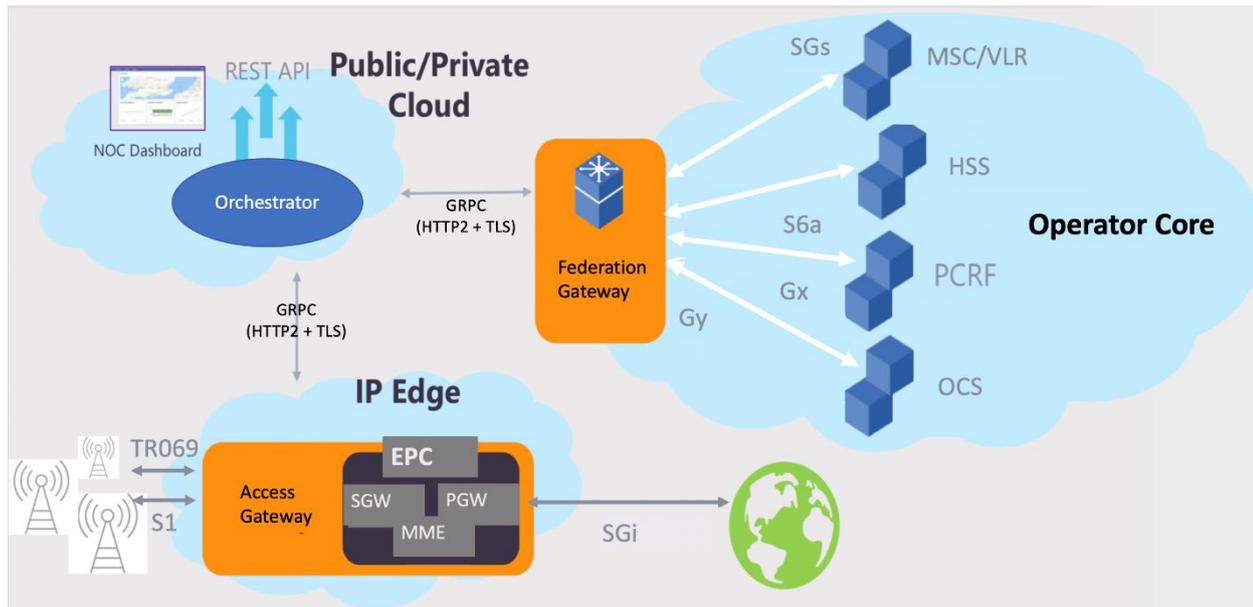


Figura 3: Arquitectura Magma Core [13].

Con Magma Core, además de facilitarse el despliegue de redes, también se mejora su conectividad. Al utilizar la plataforma, las operadoras podrán aumentar su alcance utilizando tecnologías LTE, 5G y WiFi como una gran red. Además, estas redes permiten ofrecer servicio móvil sin estar bloqueadas para una operadora en concreto. La gestión con Magma Core será más eficiente y automatizada. La Tabla 4 muestra un resumen comparativo de los dos proyectos de código abierto analizados.

Tabla 4: Resumen comparativo Magma Core y OMEC

Indicadores	Open Mobile Evolved Core	Magma Core
Rendimiento	Alto rendimiento	Alto rendimiento
Escalabilidad	Escalable y está optimizado para manejar la avalancha de dispositivos que se deben conectar al emplearse 5G e IoT	Solución de red central móvil abierta, flexible y escalable. Escala las implementaciones de alta disponibilidad
Propósito	Diseñado para utilizarse como un EPC independiente, integra funciones de administración de suscriptores móviles y fijos	Diseñada para ser independiente de la red de acceso, ya sea celular o WiFi, pudiendo admitir un acceso de radio con un mínimo esfuerzo de desarrollo e implementación
Arquitectura	Está construido sobre una arquitectura NFV que incluye: Capacidades completas de conectividad, facturación y carga, • Compatibilidad con la versión 13 de 3GPP, • Admisión de una gran cantidad de suscriptores con un plano de datos, Optimización para implementaciones rentables, livianas y aplicaciones IoT, Capacidades integradas de prueba y verificación	Consta de tres componentes: Access Gateway (AGW), Orchestrator y Federation Gateway
Implementación	Se requiere habilidades en telecomunicaciones, se puede implementar la suite completa o componentes individuales de vEPC.	Fácil implementación y se requiere poco esfuerzo, cuenta con la capacidad de transmitir datos a

		través de funciones de red tanto virtuales como contenedores
--	--	--

OMEC y Magma admiten diferentes opciones de implementación y se pueden implementar en clústeres *bare metal*, Máquinas virtuales o K8s. Los scripts de implementación están disponibles tanto para OMEC como para Magma, lo que reduce significativamente el esfuerzo de instalación.

Selección de la solución

Para seleccionar entre las dos soluciones de software analizadas la que se va a proponer para virtualizar el núcleo de la red móvil, se tuvieron en cuenta varios aspectos determinándose que Magma Core es la solución más acertada. Ambos softwares muestran los mismos principios de funcionalidad relacionados con la escalabilidad, la tolerancia a fallos y los modelos de operación enfocados en el despliegue de la red. Magma Core se ha desarrollado a partir de objetivos concretos de eficiencia / costo y facilidad de implementación para la red celular, persiguiendo la máxima de llevar conexión donde no existe lo hace más aceptado. Por ello, constituye una alternativa para las zonas de menor desarrollo en cuanto a cobertura móvil. Además, en el plano de usuario su arquitectura está basada en el procesamiento de paquetes en el kernel de Linux, característica que la dota de una flexibilidad superior con respecto a OMEC [14].

3. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA VIRTUALIZACIÓN DEL NÚCLEO DE UNA RED MÓVIL LTE UTILIZANDO MAGMA CORE

La implementación de Magma Core se realizó en una máquina virtual creada en VMWare Workstation con las características que se describen en la tabla 5 [15]. Para la implementación se consultó las publicaciones de la Fundación Linux en temas relacionados con Magma Core y las ventajas que esta ofrece [16].

Tabla 5: Configuración máquina virtual [15].

Características	Valores
Sistema Operativo	Ubuntu 20.04 LTS
Imagen base (cloud image)	focal-server-cloudimg-amd64.img
CPU virtuales	4
RAM (Gb)	8
Espacio de disco (Gb)	60
Usuario local	ubuntu
Versión de Magma	v1.6

Las Cloud Images de Ubuntu son imágenes de disco preinstaladas que han sido personalizadas para ejecutarse en nubes públicas, proporcionando certificados de Ubuntu, Openstack, LXD (Linux Container Daemon) y más.

Para el proceso de instalación y configuración del EPC virtualizado se creó una KVM (Kernel-based Virtual Machine) para la instalación de Ubuntu Server Cloud Image. A continuación, se descargó el repositorio de Magma y se implementó el AGW mediante los scripts de instalación proporcionados por el proyecto en Github. Finalmente se validó del estado del AGW y sus servicios.

Después de ejecutado el proceso de instalación se puede afirmar que la solución Magma Core de código abierto queda debidamente instalada y ejecutándose lo que se muestra en la Fig. 4.

4. CONCLUSIONES

En este artículo para realizar la virtualización del núcleo de la red LTE empleando software libre se propone el proyecto Magma Core luego de su comparación con el proyecto OMEC. Principalmente se selecciona Magma Core por la flexibilidad de su arquitectura, su mejor relación eficiencia / costo y su posibilidad de despliegue como núcleo de una red LTE en distintos escenarios. La instalación del AGW de Magma Core en un ambiente virtual permitió validar el estado y ejecución de los servicios de un EPC virtualizado.

```
magna@dnssd.service - Magma dnssd service
Loaded: loaded (/etc/systemd/system/magna@dnssd.service; disabled; vendor
Active: active (running) since Thu 2022-01-20 14:57:45 CST; 1h 13min ago
Process: 2281 ExecStartPre=/usr/bin/env python3 /usr/local/bin/generate_dn
Main PID: 2519 (dnsmasq)
Tasks: 1 (limit: 5791)
Memory: 568.0K (limit: 300.0M)
CGroup: /system.slice/system-magma.slice/magna@dnssd.service
└─2519 /usr/sbin/dnsmasq -k --conf-file=/var/opt/magma/tmp/dnssd.c

ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq-dhcp[2519]: DHCP, sockets bound exclusively
ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq[2519]: reading /etc/resolv.conf
ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq[2519]: using nameserver 8.8.8.8#53
ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq[2519]: using nameserver 208.67.222.222#53
ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq[2519]: using nameserver 192.168.235.2#53
ene 20 14:57:45 magna-agw dnsmasq[2519]: read /etc/hosts - 6 addresses
ene 20 15:00:12 magna-agw dnsmasq-dhcp[2519]: DHCPDISCOVER(eth1) 192.168.43.21
ene 20 15:00:12 magna-agw dnsmasq-dhcp[2519]: DHCP OFFER(eth1) 192.168.235.243
ene 20 15:00:12 magna-agw dnsmasq-dhcp[2519]: DHCPDISCOVER(eth1) 192.168.43.21
ene 20 15:00:12 magna-agw dnsmasq-dhcp[2519]: DHCP OFFER(eth1) 192.168.235.243

magna@magnad.service - Magma magnad service
Loaded: loaded (/etc/systemd/system/magna@magnad.service; enabled; vendor
Active: active (running) since Thu 2022-01-20 14:56:17 CST; 1h 15min ago
Main PID: 803 (python3)
Tasks: 10 (limit: 5791)
Memory: 86.1M (limit: 300.0M)
CGroup: /system.slice/system-magma.slice/magna@magnad.service
```

Figura 4: Estado general de Magma Core [15].

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece al Ing. Fernando Enrique González Betancourt por su apoyo en el tema del artículo.

REFERENCIAS

- [1] R. Agustí Comes: “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles”. Fundación Vodafone, España, 2010
- [2] L. F. Ulloa Z., “La virtualización y su impacto en las ciencias computacionales”, *Lámpsakos*, No.2, pp 118-121, julio-diciembre 2009.
- [3] Y. R. Navarro, J. J. Linares Barrero, “NFV: Tecnología de excelencia para los servicios de red”, *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, Vol. 11, No. 6, pp 56-64, mayo 2019.
- [4] J. C. Cruz Sandoval, “Virtualización de las Funciones de Red”, *Tino*, No. 65, pp 08, marzo 2019.
- [5] J. Prados-Garzon, M. B. Abdelquodouss Laghrissi, T. Taleb, J. M. Lopez-Soler, “A complete LTE Mathematical Framework for the Network Slice Planning of the EPC”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 19, No. 1, pp 1-14, enero 2020.
- [6]] A. Londoño, W. Campo-Muñoz, W. D. Jimenez, “Evaluación del desempeño de una red LTE mediante parámetros de QoS”, *Espacios*, Vol. 40, No. 18, pp 8, Junio 2019.
- [7] J. Santacruz, R. García, “Convergencia de las Comunicaciones Móviles hacia Sistemas LTE y LTE-A de Cuarta Generación”, *Killkana*, Vol. 1, No. 1, pp 15-22, enero-abril 2017.
- [8] 3GPP 23.002, “Network architecture”. Version 8.7.0 Release 8, 2011
- [9] Nokia Academy, “LTE End to End System Part 1”, Nokia Academy, 2014
- [10] LTE Network Infrastructure and Elements, LTE Encyclopedia, 2010
- [11] J Gualda Muñoz, “Estudio de la arquitectura de protocolos de LTE”, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2016.
- [12] OMEC - Open Networking Foundation, opennetworking, 2021
- [13] Shah Rahman, Magma Community Project Evolution, 2021
- [14] Magma_README_AGW.md at master · magma_magma · GitHub, 2021
- [15] F. Betancourt, “Implementación del núcleo de red LTE aplicando tecnologías de virtualización”, Tesis de grado, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, CUJAE, La Habana, 2022.

[16] Linux Foundations Projects, “Implications of the Magma Architecture, Interoperability, scale and resilience”, 2022

SOBRE LOS AUTORES

Lic. José Antonio León Martínez graduado de Licenciatura en Ciencias de la Computación en la Universidad de La Habana, actualmente trabaja en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba ETECSA, es profesor en la Facultad de Ing. Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica José Antonio Echevarría de La Habana. Código ORCID 0009-0007-3847-7735

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Preparación, creación y desarrollo del artículo, revisión y adecuación de cada una de las versiones, contribución a la idea y organización del artículo, propuesta del tema de investigación y aprobación de la versión final. (100%)

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

