

APUNTES CENTRALES DEFINIDAS POR SOFTWARE Y COMPUTACIÓN EN EL BORDE

Carlos M. Lentisco

e-mail: c.lentisco@upm.es

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos
ETSIT-UPM

(Actualizado 2023)



This work is licensed under a “CC BY-NC-SA 4.0” license.

CONTENIDO

1.	Introducción y organización del tema.....	4
2.	Multi-access Edge Computing (MEC)	5
2.1.	Arquitectura de computación en el borde	5
2.2.	Integración de los sistemas MEC en las redes 5G	7
2.3.	Coexistencia MEC y NFV.....	11
3.	Centrales definidas por software	13
3.1.	Proyecto CORD: reinventando las centrales como centros de datos	13
	R-CORD (Residential-CORD)	14
	M-CORD (Mobile-CORD).....	15
	COMAC (Converged Multi-Access and Core)	17
3.2.	Otras iniciativas relevantes.....	18
4.	Referencias	19

CENTRALES DEFINIDAS POR SOFTWARE Y COMPUTACIÓN EN EL BORDE

1. INTRODUCCIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL TEMA

Este documento proporciona una visión sobre cómo la computación en el borde de la red y la definición por software de las centrales locales hace posible la provisión de servicios novedosos como la conducción remota o los servicios de AR/VR que tienen estrictos requisitos de retardo, ancho de banda y pérdidas.

En primer lugar, el documento revisa la arquitectura de gestión de aplicaciones en el borde de la red (aplicaciones MEC), y cómo se integra esta arquitectura en las redes 5G. A continuación, el documento discute las similitudes que presentan las arquitecturas de gestión MEC y NFV y se describe una propuesta de los organismos de estandarización para ofrecer una plataforma que unifique la gestión de aplicaciones y funciones de red virtualizadas. La sección 3 describe el proceso de transformación que se está llevando a cabo para definir por software una local de proximidad de un operador de telecomunicaciones. El objetivo es comprender cómo desde las centrales locales definidas por software, es posible desplegar las aplicaciones MEC y las funciones de red virtualizadas que necesitan los servicios novedosos que se indicaban anteriormente. Esta definición por software de las centrales locales se ilustra con el proyecto CORD, un proyecto de referencia en el que participan diferentes actores del sector TIC, desde proveedores de servicios a operadores de telecomunicaciones.

2. MULTI-ACCESS EDGE COMPUTING (MEC)

La computación en el borde de la red permite desplegar aplicaciones como software que se ejecuta sobre una infraestructura de virtualización ubicada en el borde de la red. Se trata de una tecnología que puede ayudar a satisfacer los requisitos de retardo y ancho de banda que demandan muchas aplicaciones novedosas (realidad virtual/aumentada, conducción autónoma) que se implantarán en las redes 5G. Uno de los aspectos principales de la computación basada en MEC es su capacidad para desplegar aplicaciones ágilmente, a semejanza de lo que ocurre con los servicios de red en los entornos NFV. También facilita su gestión, ya que las aplicaciones pueden utilizar información en tiempo real de la red de acceso y la infraestructura de virtualización para mejorar sus prestaciones. Por ejemplo, es posible proporcionar a las aplicaciones información sobre eventos relacionados con la movilidad de los usuarios o información sobre los recursos de red disponibles.

2.1. ARQUITECTURA DE COMPUTACIÓN EN EL BORDE

A continuación, se describen los componentes de la arquitectura definida por la ETSI para el soporte de las aplicaciones MEC (Figura 1) [1]. El primero de estos componentes es el denominado MEC host, que se trata de una infraestructura de virtualización que proporciona los recursos de cómputo, almacenamiento y red sobre los que se ejecutan las aplicaciones MEC (*o MEC apps*). Un MEC host también incluye una plataforma MEC (*o MEC platform*) que, básicamente, es una colección de servicios que pueden ser necesarios para ejecutar las aplicaciones. La ETSI define tres servicios que podrían estar incluidos en las plataformas MEC. El primero, es un servicio de información de la red radio que proporciona información sobre las condiciones de la red y medidas/estadísticas relacionadas con el plano de datos. El segundo, es un servicio de localización que reporta la ubicación de los terminales. El tercero, se trata de un servicio que permite asignar ancho de banda al tráfico que se dirige (u origina) hacia las aplicaciones MEC. Este servicio también permite priorizar un flujo de tráfico frente a otros.

Las especificaciones de la ETSI indican que la plataforma MEC debe permitir a las aplicaciones descubrir y utilizar servicios. Pero, además, también debe ser posible que las aplicaciones puedan registrarse en la plataforma como un servicio adicional (vea el componente *Service registry* en la Figura 1). Así, una MEC app puede utilizar los servicios básicos que incluye la plataforma MEC (por ejemplo, los tres que se han comentado anteriormente), y otros servicios adicionales que proporcionan las aplicaciones MEC.

Por otro lado, la plataforma MEC incluye un servidor/proxy DNS (*DNS handling* en la Figura 1) que se configura a través de los registros DNS que recibe del gestor de la plataforma (entidad que se describirá a continuación). Suponga que una aplicación se despliega en Internet y en un MEC host. El servicio DNS se utiliza como mecanismo de redirección en este contexto [2], haciendo posible que el tráfico se dirija a la máquina virtual que da soporte a la aplicación. Para ello, todo el tráfico DNS de los usuarios tiene que encaminarse al servidor/proxy DNS que está localizado en la plataforma MEC. Es decir, este servidor es el que tiene que resolver la dirección IP asociada al nombre que proporciona el usuario en su solicitud DNS.

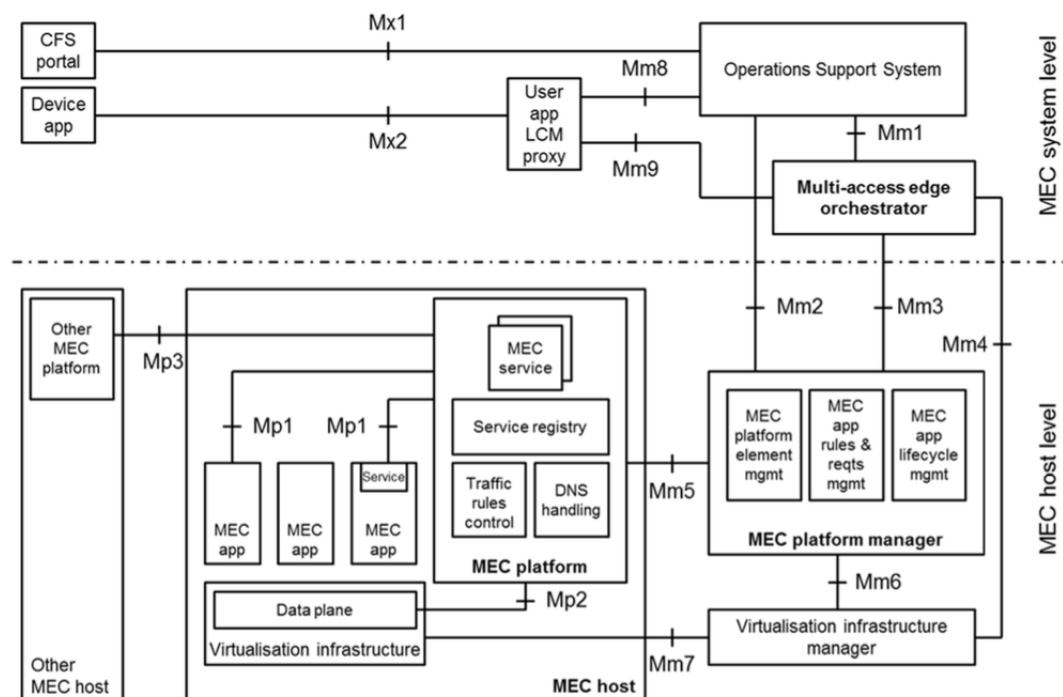


Figura 1. Arquitectura de orquestación y gestión de aplicaciones basadas en MEC. Fuente: [1]

La plataforma MEC incluye funciones para el encaminamiento del tráfico (*Traffic Rules Control* en la Figura 1). Se encarga de programar el plano de datos de la infraestructura de virtualización haciendo uso de las reglas de tráfico que recibe del gestor de la plataforma, las aplicaciones y servicios. El objetivo principal [2] es permitir que las aplicaciones puedan enviar tráfico a los usuarios (y viceversa), así como permitir el intercambio de tráfico entre las aplicaciones y redes externas al MEC host.

La ETSI también ha definido un sistema de gestión y orquestación de aplicaciones MEC muy semejante a NFV-MANO [1]. Como puede observar en la Figura 1, este sistema de gestión está compuesto por un gestor de la plataforma MEC (*MEC platform manager* o MEPM), un gestor de la infraestructura de virtualización (*virtualisation infrastructure manager*) y un orquestador (*Multi-access edge orchestrator* o MEO). El gestor MEPM tiene tres funciones fundamentales. Primero, se encarga de gestionar el ciclo de vida de las aplicaciones (*MEC app lifecycle mgmt*), informando al orquestador sobre eventos relevantes relacionados con dichas aplicaciones. Segundo, proporciona a la plataforma MEC la configuración del servicio DNS y reglas de tráfico que le permiten programar el plano de datos (*MEC app rules & reqts mgmt*). Tercero, se encarga de otras funciones de gestión relacionadas con seguridad, la gestión de fallos, o el rendimiento de la plataforma MEC (*MEC platform element mgmt*).

Con respecto al gestor de la infraestructura de virtualización, decir que actúa como el VIM de NFV-MANO, es decir, se encarga de gestionar los recursos de cómputo, almacenamiento y red disponibles. Finalmente, y con respecto al orquestador, la ETSI indica que elemento de la arquitectura desde donde se inicia el proceso de instanciación/terminación de las aplicaciones MEC. Además, el orquestador mantiene una visión global de todo el sistema, lo que incluye los servicios disponibles en la plataforma MEC o los recursos disponibles en la infraestructura de virtualización. Otra de sus funciones es validar el registro de una nueva aplicación MEC en el sistema, por ejemplo, comprobando sus requisitos de calidad de servicio, y ajustándolos para que se cumplan las políticas del operador. Teniendo en cuenta estos requisitos de calidad de servicio, se encarga de seleccionar el MEC host más adecuado para instanciar las aplicaciones MEC.

El orquestador se conecta al sistema de soporte a operaciones (*Operation Support System* o OSS) del operador. El OSS se encarga de autorizar las peticiones que recibe de las aplicaciones de los dispositivos o del portal CFS (*Custmer Facing Service*) para instanciar o terminar las aplicaciones MEC. Las peticiones que son autorizadas se reenvían al orquestador para que este las procese. El servicio CFS es un portal que permite a los clientes de los operadores (por ejemplo, empresas comerciales) “alquilar” las aplicaciones MEC que satisfacen sus necesidades de negocio.

La ETSI define el término aplicaciones de usuario como aplicaciones MEC que se instancian en el MEC host cuando una aplicación que corre en el dispositivo final del usuario (*Device app*) lo solicita. En este caso, el orquestador recibe las peticiones para gestionar el ciclo de vida de las aplicaciones MEC a través del proxy *User app LCM proxy*. Las operaciones que se pueden llevar a cabo son: solicitar la lista de aplicaciones MEC disponibles o instanciar/terminar una aplicación MEC. Gracias a la existencia de este proxy, un desarrollador puede instanciar sus aplicaciones MEC en el sistema desde cualquier dispositivo final [3].

2.2. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS MEC EN LAS REDES 5G

Las especificaciones del 3GPP [4] definen un conjunto de mecanismos de la red 5G que permiten encaminar el tráfico de los clientes a las aplicaciones MEC que se despliegan en los MEC hosts. Para entender estos mecanismos primero es necesario entender los diferentes roles que puede adoptar un UPF en la red. El primero de ellos es el denominado *PDU Session Anchor* (PSA), que se trata de un UPF que se conecta directamente a una red de datos a través de la interfaz N6. La Figura 2 (a) muestra este escenario. El segundo rol que puede adoptar un UPF se denomina *Intermediate UPF* (I-UPF). Se trata de un UPF que actúa como intermediario entre el PSA y la red de acceso radio (Figura 2 (b)). Este UPF es necesario en escenarios de movilidad. El terminal puede realizar un proceso de handover a un nodo de la red de acceso que no tiene conexión directa con el PSA. En este caso, el I-UPF permite encaminar el tráfico del cliente al PSA. Finalmente, el tercer rol que puede adoptar un UPF es el denominado *Uplink Classifier* (UL-CL en la Figura 2 (c)). Este clasificador determina el camino más adecuado para el tráfico ascendente, por ejemplo, cuando es necesario encaminar el tráfico de los terminales a las aplicaciones MEC. Durante el establecimiento de la sesión PDU, el SMF selecciona los UPFs que conectan al terminal móvil con la red de datos. Para ello, utiliza información de diversa índole, como la carga de los UPFs, la localización del UPF y del terminal o el identificador de la red de datos (*Data Network Name* o DNN). En definitiva, durante el establecimiento de la sesión PDU es posible encaminar el tráfico de los usuarios a las aplicaciones MEC.

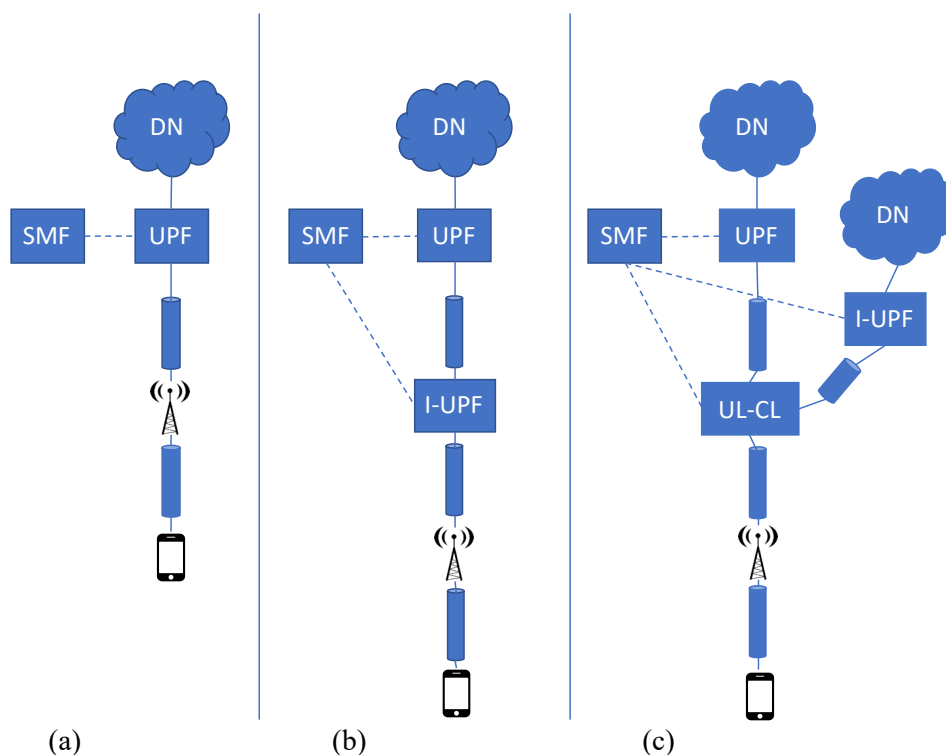


Figura 2. Rol de los UPF en la red 5G

El 3GPP también define mecanismos para la reelección de los UPFs en escenarios movilidad. Uno de ellos es el modo de continuidad de sesión o servicio (*Service and Session Continuity* o SCC). Durante el establecimiento de la sesión PDU, se selecciona el PSA más cercano al terminal. Sin embargo, y debido a la movilidad del usuario, es posible que el PSA más cercano cambie. Conmutar de PSA requiere modificar la dirección IP del terminal móvil, lo que puede afectar a los servicios o aplicaciones que utiliza el usuario. Teniendo en cuenta lo anterior, el 3GPP define tres modos SSC. El primero, consiste en mantener el PSA y el prefijo IP independientemente de la movilidad del usuario. El segundo, se basa en terminar la sesión PDU en curso y establecer una nueva sesión. Sin embargo, se produce una interrupción de la conectividad del terminal porque no se puede establecer la nueva sesión PDU hasta que la vieja ha sido liberada. Además, requiere reasignar la IP del terminal móvil. Cuando se establece la nueva sesión PDU, se selecciona el PSA mas cercano al terminal móvil. El tercer modo SSC es similar al segundo, pero difiere en que se evita la interrupción de la conectividad. Para conseguir esto, el sistema puede establecer múltiples sesiones PDU, creando una nueva sesión antes de que la anterior ha sido liberada.

Hasta ahora, se ha considerado que una sesión PDU tiene asignado un único PSA, pero el 3GPP indica que es posible asignar a la misma sesión PDU más de un PSA al mismo tiempo. Esta opción se utiliza cuando se quiere mantener una conexión con un PSA local, que conecta al terminal con un MEC host, y una conexión con un PSA central, que conecta al terminal con un centro de datos centralizado o con Internet. Esto es útil, por ejemplo, en escenarios de distribución de contenidos multimedia basados en MEC, donde se despliega una cache en el MEC host que almacena el contenido. Cuando el contenido multimedia no está en cache, el reproductor puede recuperarlo de un servidor central que está desplegado en un centro de datos o en Internet. Uno de los mecanismos que dan soporte a esta función se ha comentado anteriormente. Se trata del UPF con rol de clasificador (UL-CL). El clasificador se encarga de decidir el camino del tráfico ascendente. La clasificación del tráfico y las reglas de encaminamiento son programadas en el clasificador a través del SMF. El SMF selecciona el UL-CL y los PSAs en cualquier momento del ciclo de vida de la sesión PDU (es decir, no tiene por qué ser durante el establecimiento).

Otro aspecto que puede tener un papel clave para el despliegue de soluciones basadas en MEC es la capacidad que tienen las funciones de aplicación (AF) de tomar decisiones de encaminamiento. La idea es que un AF puede proporcionar al núcleo de la red 5G información sobre cómo el tráfico debe encaminarse en la red, por ejemplo, para conmutar el tráfico que iba dirigido a Internet, hacia un MEC host. En la solicitud del AF se incluye información de encaminamiento, información que identifica el flujo de datos y el usuario o grupos de usuarios sobre los que se aplican las reglas de encaminamiento y una lista con diferentes localizaciones de las aplicaciones (por ejemplo, el identificador de varios MEC hosts). La solicitud del AF se entrega al PCF, ya sea directa o indirectamente a través del NEF. El PCF transforma la solicitud del AF en políticas que deben aplicarse al flujo de datos. Estas políticas se envían al SMF, que decide cómo implementar la solicitud del AF utilizando los mecanismos y procedimientos que se han descrito anteriormente (modos SSC, (re)selección del UPF, uso de un clasificador UL-CL).

Finalmente, el 3GPP define otro mecanismo que puede tener aplicación en los entornos MEC. Se trata de las redes de datos de área local (*Local Area Data Networks* o LADN). Se trata de un caso especial donde un usuario solo tiene acceso a los servicios de la red LADN cuando está dentro de una determinada área geográfica, por ejemplo, un estadio de fútbol. Cuando el terminal móvil inicia el establecimiento de una sesión PDU para conectarse a una LADN, el AMF informa al SMF sobre si el terminal está dentro o fuera del área de cobertura. La sesión PDU solo se establece si el usuario está dentro del área de cobertura.

Para más información sobre los procedimientos y mecanismos que se han descrito anteriormente consulte la siguiente referencia: [5]

Por otro lado, se han considerado diferentes escenarios para el despliegue de los sistemas MEC en las redes 5G [6], tal y como muestra la Figura 3. El primero de estos escenarios se basa en desplegar un UPF en las mediaciones de las estaciones base. Este UPF encamina el tráfico de la estación al MEC más cercano siempre que sea posible, y en caso contrario, a otro MEC host remoto, o al núcleo de la red. Sin embargo, este enfoque exige que las estaciones base integren el RRH y la unidad BBU en un mismo equipo, mientras que las tendencias actuales proponer virtualizar la red de acceso radio migrando las BBUs a un entorno de computación. El segundo escenario se basa en que un conjunto de estaciones base se conecta a una central local que incluye un MEC host y un UPF local. Este enfoque es compatible con la idea de virtualizar la red de acceso radio (C-RAN). El tercer escenario es muy semejante al anterior, solo que en este caso se despliega un punto de agregación entre el MEC host y las estaciones base. Por último, el cuarto escenario asume que el MEC host se despliega en el mismo centro de datos donde se despliegan las funciones del núcleo de la red 5G. Es decir, el tráfico de las estaciones se encamina a los UPFs que se despliegan en el núcleo de la red. Estos UPF redirigen el tráfico al MEC host correspondiente.

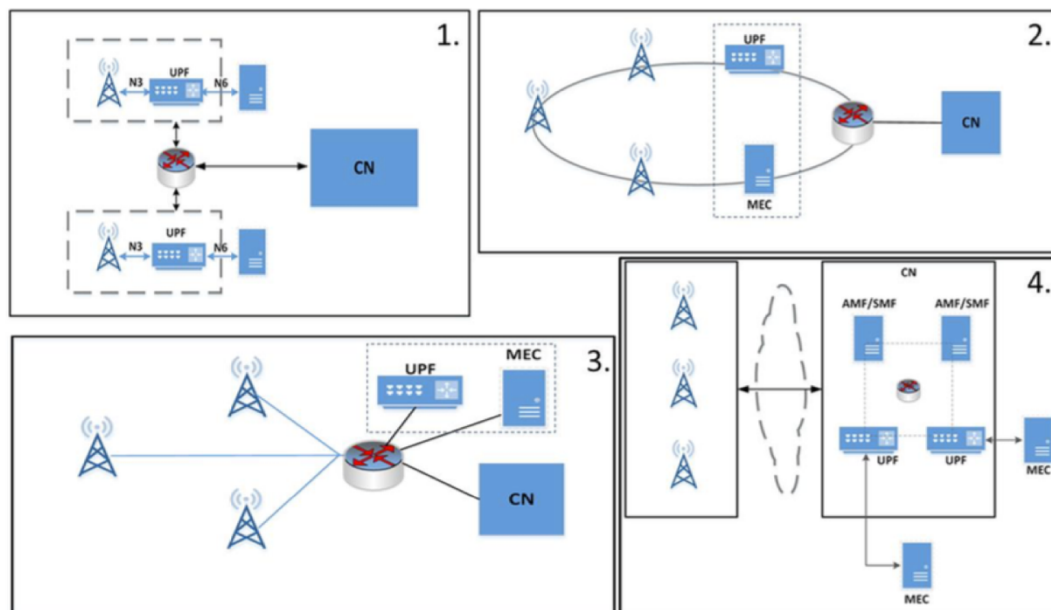


Figura 3. Escenarios de despliegue de los sistemas MEC en las redes 5G. Fuente: [6]

Otra cuestión importante sobre la integración los sistemas MEC en las redes 5G es la movilidad de las aplicaciones. Las aplicaciones MEC se despliegan muy cerca de los usuarios, pero estos pueden moverse. Esto quiere decir que la aplicación que da servicio al usuario debe poder cambiar de localización física, es decir, desplegarse en otro MEC host más cercano. A pesar de que es posible planificar el despliegue de las aplicaciones en diferentes MEC hosts simultáneamente, sigue siendo necesario transferir información de contexto del usuario al MEC que, en cada momento está dando servicio al usuario.

Para finalizar, la Figura 4 muestra cómo se integrarían los sistemas MEC en la red 5G. El sistema MEC se despliega como una red de datos sobre la interfaz N6. El sistema MEC, comunicándose con la red 5G a través del NEF, puede tomar decisiones sobre el encaminamiento del tráfico. Los mecanismos que se han descrito anteriormente, para la (re)selección de los UPF o para clasificar el tráfico en el canal ascendente son utilizados por el orquestador MEC y la plataforma MEC. Por ejemplo, cuando se despliega una aplicación MEC en un MEC host, la plataforma MEC, actuando como AF, envía información de encaminamiento a la red 5G para que el tráfico de los usuarios pueda llegar a dicha aplicación. La red 5G también puede proporcionar al sistema MEC información que puede ayudar a mejorar las prestaciones de las aplicaciones. Por ejemplo, el sistema MEC se puede suscribir a un servicio de información sobre eventos relacionados con la movilidad de los usuarios. Esto puede utilizarse, por ejemplo, para desplegar dinámicamente las aplicaciones MEC en diferentes puntos de presencia. Es decir, para “mover” las aplicaciones MEC a diferentes MEC hosts según la posición del terminal en la red.

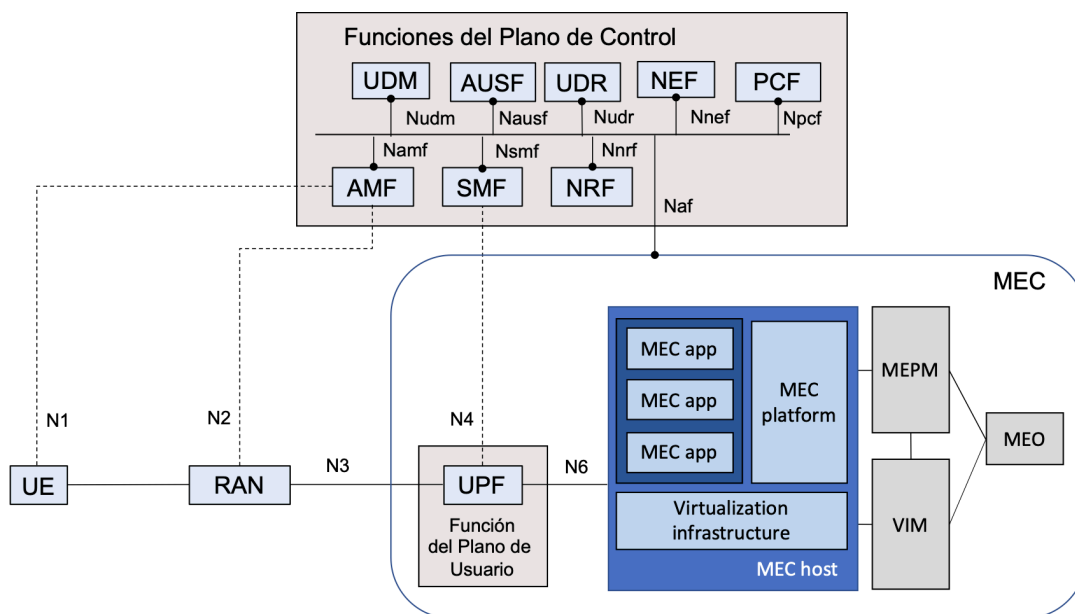


Figura 4. Integración de sistemas MEC en la arquitectura de la red 5G

2.3. COEXISTENCIA MEC Y NFV

Como ha podido observar, existen muchas similitudes entre los sistemas de gestión y orquestación de aplicaciones MEC y los sistemas de gestión y orquestación de servicios de red basados en NFV. Por esta razón, la ETSI [7] ha analizado como se pueden desplegar los sistemas MEC en los entornos basados en NFV. Este análisis parte de tres asunciones:

- La plataforma MEC se despliega como una VNF utilizando los procedimientos definidos en el estándar de NFV-MANO.
- Las aplicaciones MEC también se despliegan como VNFs. Sin embargo, es de esperar que estas aplicaciones no utilicen toda la funcionalidad que ofrece NFV-MANO y que, por otro lado, requieran funciones adicionales que no están presentes en el entorno de gestión de VNFs. Las aplicaciones MEC, desplegadas como VNFs, se denominan “MEC app VNF”.
- La infraestructura NFVI es la infraestructura de virtualización a la que se refieren los estándares de computación MEC (Figura 1). Los recursos de la NFVI son gestionados por el VIM, tal y como se define en el estándar de NFV-MANO.

Debido a que las aplicaciones MEC se despliegan como VNFs, algunas operaciones de la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones se pueden delegar a los elementos de NFV-MANO (NFVO y VNFM). La Figura 5 muestra la integración de las arquitecturas MEC y NFV. El gestor de la plataforma MEC (MEPM) se transforma en este contexto en el gestor *Mobile Edge Platform Manager - NFV* (MEPM-V), delegando la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones al VNFM. Es decir, el MEPM-V sigue incluyendo las funciones generales de gestión de la plataforma MEC (por ejemplo, funciones de seguridad, control de fallos o rendimiento), la función que permite configurar el servicio DNS que incluye la plataforma MEC y la función que permite enviar reglas de tráfico a la plataforma MEC para que esta programe el plano de datos.

El orquestador del sistema MEC (MEO) se transforma en el *Mobile Edge Application Orchestrator* (MEAO), delegando en el NFVO la orquestación de recursos de la NFVI y las operaciones relacionadas con la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones.

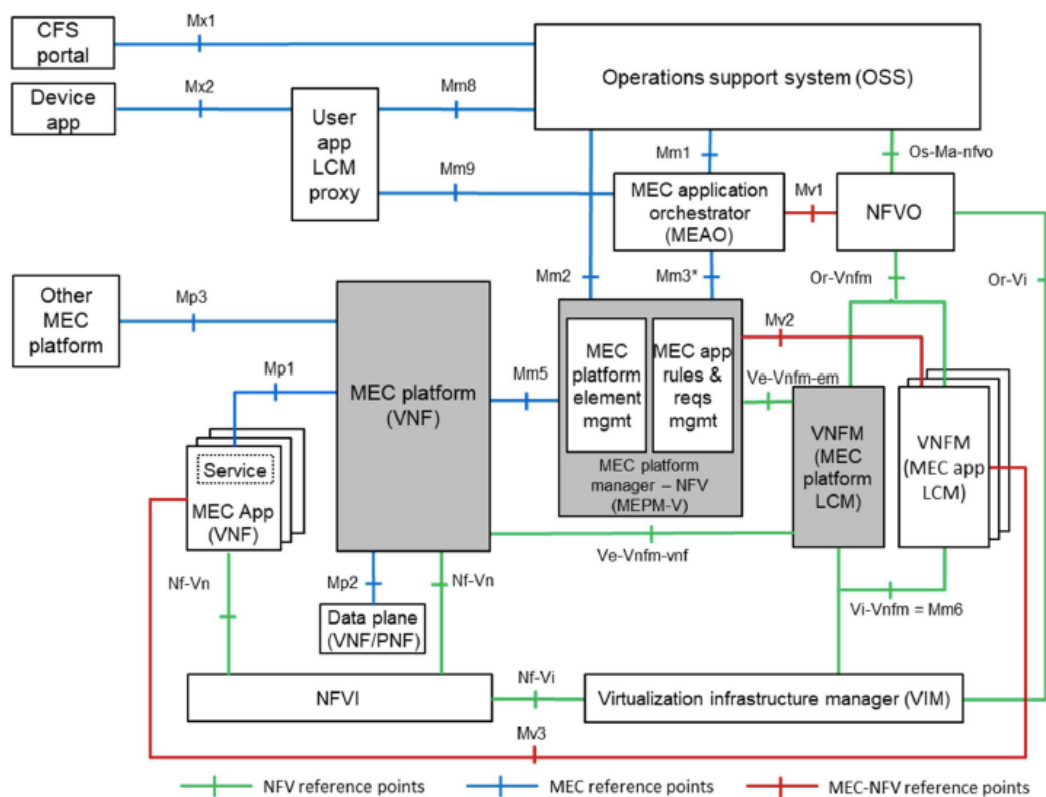


Figura 5. Despliegue de los sistemas MEC en los entornos NFV. Fuente: [7]

3. CENTRALES DEFINIDAS POR SOFTWARE

La demanda de ancho de banda ha crecido de forma muy significativa en los últimos años. Por ejemplo, entre los años 2007 y 2015, AT&T experimentó un aumento del tráfico de datos del 100.000 % en su red inalámbrica [8]. En este contexto, las centrales locales juegan un papel muy relevante. El borde de la red del operador (la central local) es el punto desde donde los operadores se conectan con sus clientes. Sin embargo, las arquitecturas clásicas de las centrales locales no permiten desplegar dinámicamente funciones y/o servicios que permitan gestionar el tráfico de los usuarios de una forma más eficiente. Implementar una nueva función puede llevar meses, siendo necesario desarrollar actualizaciones o nuevas versiones de los equipos de red. Además, las centrales locales clásicas contienen una gran diversidad de equipos (firewalls, routers o conmutadores) de diferentes fabricantes. Por ejemplo, AT&T gestiona aproximadamente 4700 centrales locales, algunas de ellas, con hasta 300 equipos diferentes (diferente propósito y diferentes fabricantes) [9]. Esto lleva asociado unos costes de inversión (CAPEX) y operación (OPEX) muy elevados.

La aplicación de soluciones basadas en NFV, SDN y MEC computing en este entorno permite reducir costes, no solo por la posibilidad de desplegar infraestructura de red basada en hardware de propósito general (más barata), sino porque simplifica la gestión y el mantenimiento de la central. Además, la centralización de la gestión hace posible desplegar y escalar los servicios de una forma más flexible. Suponga que un operador necesita escalar un servicio. Normalmente, esto requeriría instalar hardware adicional, sin embargo, la virtualización de los servicios de red permite gestionar de forma global los recursos de computación, red y almacenamiento de la infraestructura, asignando a los servicios tantos recursos como requieran. Es decir, permite gestionar los recursos disponibles en la central local de una forma más eficiente y dinámica.

Existen diferentes propuestas para transformar las centrales locales teniendo en cuenta el uso de las tecnologías de virtualización. A continuación, se describe el proyecto CORD (*Central Office Re-architected as a Datacenter*) [9], un proyecto desarrollado por el consorcio de operadores y fabricantes ONF (*Open Networking Foundation*) [10]. Después, se proporcionará una visión sobre otras iniciativas existentes.

3.1. PROYECTO CORD: REINVENTANDO LAS CENTRALES COMO CENTROS DE DATOS

CORD propone virtualizar la infraestructura de red que se despliega en las centrales locales utilizando servidores de propósito general. El equipamiento hardware que da soporte a CORD recibe el nombre de unidad POD. Una unidad POD está compuesta por servidores que se conectan entre sí a través de una red de conmutadores con topología *leaf-spine* (Figura 6). Esta red de conmutación también utiliza equipos basados en hardware de propósito general. En estos conmutadores, denominados conmutadores de caja blanca, los componentes hardware y software se desacoplan, lo que permite, por ejemplo, utilizar software de código abierto.

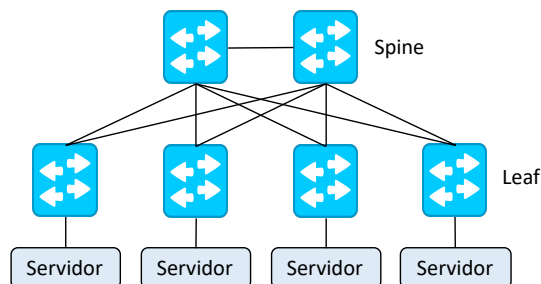


Figura 6. Ejemplo de una unidad POD, compuesta por cuatro servidores y una red de conmutadores de caja blanca con topología *leaf-spine*

Sobre la unidad POD se despliegan varios componentes software de código abierto (Figura 7). El primero de ellos es OpenStack [11], un sistema operativo de nube diseñado para controlar grandes infraestructuras de centros de datos compuestas por recursos de computación, red y almacenamiento. OpenStack sigue el modelo *Infrastructure as a Service* (IaaS). Su función es proporcionar las máquinas y redes virtuales que implementan los servicios que se proporcionan sobre CORD. Como puede observar en la Figura 7, sobre OpenStack no solo se pueden desplegar funciones de red virtualizadas (por ejemplo, un vCPE), sino también aplicaciones MEC (por ejemplo, una cache de contenidos multimedia). De esta forma, CORD sigue un enfoque similar al que define la ETSI; desplegar las aplicaciones MEC como VNFs (MEC app VNF).

El segundo componente software de CORD es ONOS [12], un controlador SDN que gestiona, tanto los conmutadores de caja blanca de la unidad POD, como los conmutadores software que despliega OpenStack para crear las redes virtuales. Sobre ONOS se virtualizan algunas funciones de red como aplicaciones SDN, como, por ejemplo, la función que realiza un router o la función que realiza la OLT (*Optical Line Terminal*) de una red de fibra óptica. El último elemento software de CORD es XOS [13], un entorno que permite componer servicios encadenando las funciones de red y aplicaciones que se despliegan sobre ONOS y OpenStack. XOS actúa en este entorno como un orquestador NFV, gestionando el ciclo de vida de los servicios, funciones de red y aplicaciones.

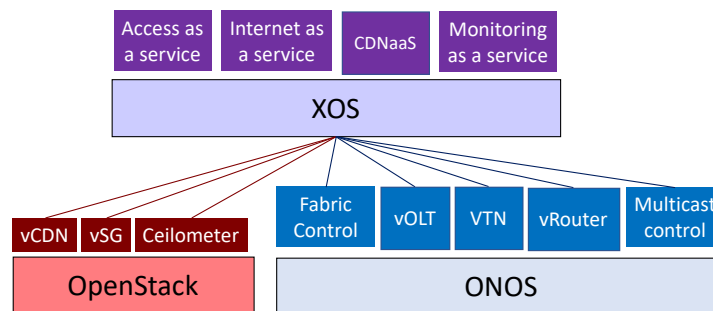


Figura 7. Relación entre los módulos software que componen el proyecto

R-CORD (Residential-CORD)

Las redes residenciales basadas en fibra óptica se componen de equipos de red que se despliegan, tanto en las centrales locales (OLT, BNG), como en la propia residencia del usuario (CPE y ONT). Inicialmente, la ONF definió el proyecto R-CORD (Residential-CORD) para abordar la virtualización de estas funciones. Sin embargo, este proyecto se ha desagregado posteriormente en los proyectos: SEBA (*SDN-Enabled Broadband Access*) [14] y VOLTHA (*Virtual OLT Hardware Abstraction*) [15]. Ambos proyectos están evolucionando rápidamente, pero puede asumir que los elementos fundamentales de una red residencial basada en CORD son los siguientes:

- vSG (*virtual Subscriber Gateway*): el CPE que se instala en casa del usuario se sustituye por un conmutador más sencillo. Las funciones del CPE, es decir, las funciones de NAT, DNS o DHCP, pasan a ejecutarse en una máquina virtual / contenedor que se despliega en los servidores de la unidad POD de la central local. El conmutador de la red residencial, que puede ser SDN, sigue estando conectado a la ONT, punto de terminación de la fibra óptica en la red residencial. Gracias a la virtualización del CPE es posible, por ejemplo, proporcionar a los usuarios herramientas sencillas para gestionar su red residencial sin necesidad de que estos adquieran conocimientos avanzados en redes de comunicaciones. En el contexto de CORD se utiliza el término vSG para hacer referencia al CPE virtual, pero el nombre más utilizado en la literatura es vCPE (*virtual CPE*).
- VOLTHA es el nombre que recibe la propuesta de CORD para virtualizar la OLT. La OLT se gestiona por software a través de una aplicación SDN (vOLT), pero el uso de hardware específico se mantiene,

puesto que es necesario, por ejemplo, para realizar la conversión entre la señal óptica y eléctrica. Es decir, hay funciones de la OLT que no se pueden virtualizar en los servidores de la unidad POD. VOLTHA proporciona una abstracción del hardware de la OLT, lo que permite gestionar la red PON desde el controlador SDN con independencia del hardware utilizado, ya sean OLTs de caja blanca o de algún fabricante en concreto. Para ello, VOLTHA incluye un conjunto de adaptadores que traducen los mensajes OpenFlow / Netconf en el lenguaje específico que define cada fabricante para gestionar su OLT. Así, ONOS controla la OLT como si fuese un conmutador SDN más.

- vRouter: el BNG es el equipo que proporciona acceso a Internet a los usuarios de la red residencial. La función de routing del BNG también se virtualiza como una aplicación SDN que se ejecuta sobre el controlador ONOS. Aunque sería posible, el proyecto CORD no implementa “a nivel SDN” los protocolos de encaminamiento de un router. En su lugar, utiliza el proyecto software Quagga. Quagga es una suite que implementa protocolos como OSPF o BGP. La interfaz FPI (*FIB Push Interface*) de Quagga se utiliza en este entorno para inyectar rutas a la aplicación vRouter, que programa la red de conmutación de la central local. Es decir, vRouter gestiona los flujos que atraviesan los conmutadores desplegados en la unidad POD, para que el tráfico se encamine tal y como especifican los protocolos de encaminamiento. Actualmente, la ONF está trabajando en una nueva versión del vRouter.

La Figura 8 resume la propuesta del CORD para las redes residenciales. Los dispositivos finales se conectan a los servicios del ISP a través de un conmutador que se instala en la red residencial del usuario. Este conmutador está conectado a la ONT, equipo que, a su vez, se conecta por fibra a la OLT que reside en la central local. La OLT se programa a través de la aplicación SDN vOLT, que se ejecuta sobre el controlador ONOS. El tráfico del usuario puede encaminarse hacia Internet o procesarse en una aplicación desplegada en la propia central local. Las caches de contenido multimedia son uno de los ejemplos más utilizados cuando se habla de aplicaciones que se despliegan en las centrales locales definidas por software. Desplegar una cache en la central local permite acercar el contenido multimedia a los clientes. Esto mejora las prestaciones del servicio, en parte, por qué es posible reducir la latencia en términos de RTT (*Round Trip Time*). La aplicación vRouter se encarga de programar la red SDN para que los flujos de tráfico se encaminen, o bien a las aplicaciones que se despliegan localmente, o bien hacia Internet. La gestión de todos estos servicios se realiza a través de OpenStack, ONOS y XOS, que también se despliegan en los servidores de la unidad POD.

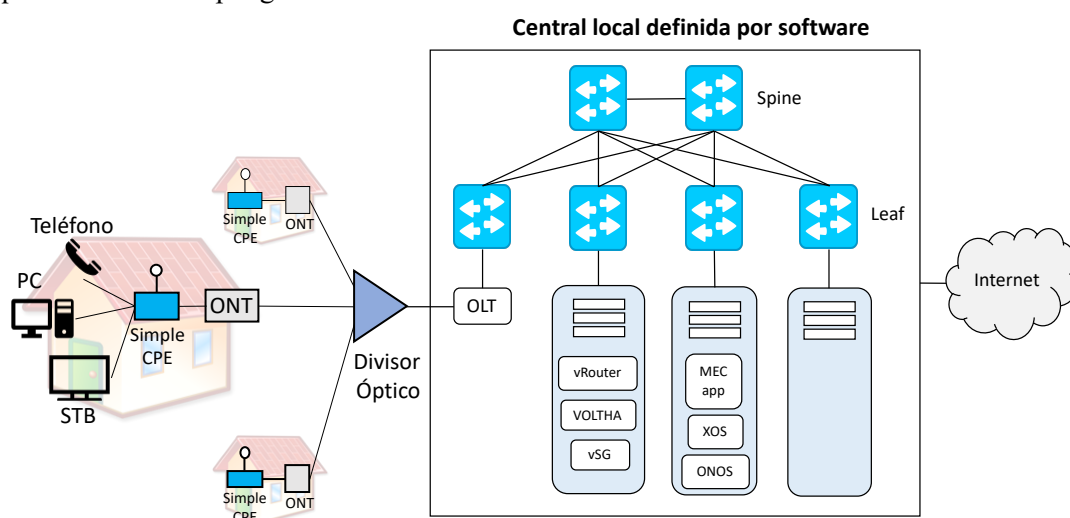


Figura 8. Central local definida por software para servicios de red residencial

M-CORD (Mobile-CORD)

Inicialmente, la ONF comenzó el proyecto M-CORD para abordar la virtualización de las funciones de red móvil en las centrales locales. El proyecto M-CORD se construye sobre los mismos componentes hardware y software que utiliza R-CORD. Sobre la unidad POD, una plataforma de gestión basada en OpenStack, ONOS y XOS da soporte a los servicios de la red móvil. El proyecto M-CORD se ha desagregado posteriormente en los proyectos: SD-RAN (*Software-Defined RAN*) [16] y OMEC (*Open Mobile Evolved Core*) [17].

SD-RAN es una actividad que surge en el seno de la alianza de operadores de red móvil O-RAN (*Open Radio Access Network*) [19], de la que ONF forma parte. El objetivo de la alianza O-RAN es evolucionar las redes de acceso móvil teniendo en cuenta los siguientes principios:

- La red de acceso requiere interfaces abiertas que permitan a los operadores customizar la red según sus propias necesidades de negocio. Además, estas interfaces deben facilitar la interoperación entre diferentes operadores, de forma que estos puedan desplegar sus servicios de una forma más flexible y rápida.
- Inteligencia. La red debería incorporar mecanismos de aprendizaje máquina (*machine learning*) para gestionarse por sí misma. Por ejemplo, los mecanismos de aprendizaje máquina pueden utilizarse en este contexto para implementar los algoritmos de planificación de recursos radio. Mecanismos como este pueden ayudar a reducir los costes de operación (OPEX) que se deducen de la gestión de la red.
- Uso de equipos basados en hardware de propósito general siempre que sea posible. Como se ha demostrado en otros entornos (por ejemplo, R-CORD), el uso de equipamiento de “caja blanca” tiene diversas ventajas, por ejemplo, reduce los costes de inversión (CAPEX) y permite utilizar software de código abierto.

SD-RAN está desarrollando una plataforma de referencia [20] basada en la arquitectura que propone O-RAN para cumplir con estos objetivos. Básicamente, la arquitectura se basa en la desagregación de las funciones de la red de radio y su control mediante software a través del controlador ONOS.

OMEC se centra en la virtualización de las funciones de red del núcleo de la red móvil. Inicialmente, se tomó como referencia la arquitectura de la red LTE, aunque actualmente se está analizando como adaptar las soluciones surgidas en el contexto del proyecto a las entidades funcionales de la red 5G. La Figura 9 muestra cómo se despliega M-CORD sobre la unidad POD. Como puede observar, la red de acceso radio sigue el esquema C-RAN, donde las estaciones base se descomponen en dos unidades: la unidad BBU, que se virtualiza en la central local, y la unidad RRH, que se distribuye geográficamente para transmitir o recibir la señal radio. El proyecto SD-RAN va un paso más allá, definiendo una nueva separación de las funciones de la unidad BBU. Así, la BBU se descompone en dos nuevas unidades: la unidad CU (*Central Unit*) y la unidad DU (*Distributed Unit*). El objetivo es centralizar en la unidad CU todas aquellas funciones de la BBU que no se realicen en tiempo real. Para simplificar la figura, se ha representado el enfoque C-RAN, que es otra posible opción de despliegue de la red de acceso radio.

En los servidores de la unidad POD se despliegan las funciones de red del núcleo de la red móvil. La propuesta de OMEC está alineada con CUPS, es decir, con la separación de los planos de datos y control de las entidades funcionales del núcleo de la red. En este caso la figura ilustra cómo se desacoplan los planos de datos y control de las entidades P-GW y S-GW, pasarelas de LTE que permiten encaminar el tráfico dentro de la red móvil (S-GW) o hacia una red de conmutación de paquetes externa (P-GW). Otras entidades de la red móvil como el MME o el HSS también se virtualizan en la unidad POD.

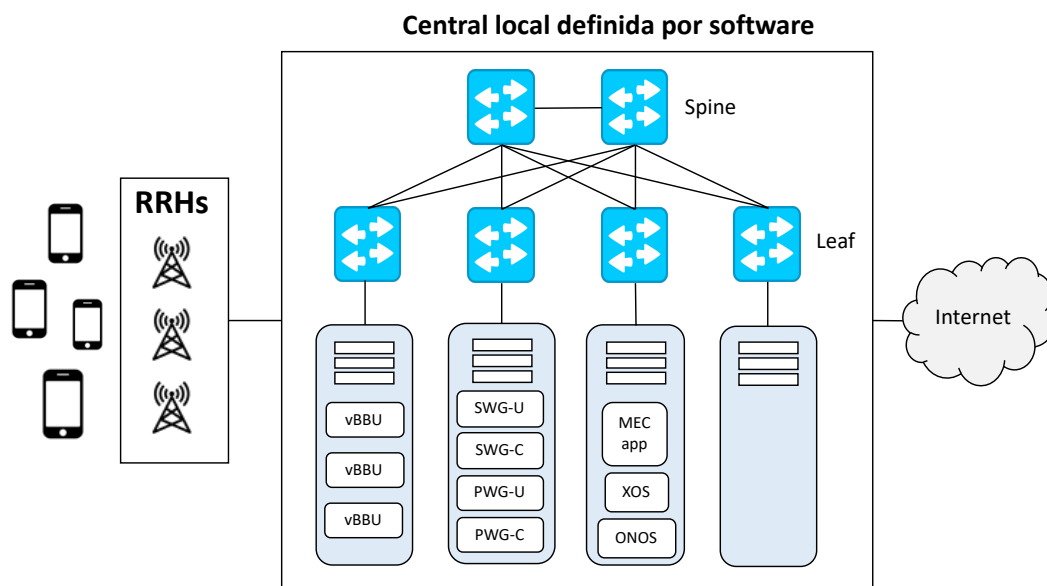


Figura 9 Arquitectura M-CORD

COMAC (Converged Multi-Access and Core)

COMAC [18] es un proyecto de la ONF que pretende integrar todos los proyectos anteriores, tanto los que se centran en las redes residenciales (SEBA y VOLTHA), como los que se centran en las redes móviles (SD-RAN y OMEC). La Figura 10 muestra como se realiza la integración de todos estos proyectos. La idea es unificar las arquitecturas de las redes residenciales y móviles, de forma que haya elementos que puedan dar servicio a ambas redes de forma simultánea. Entre otras funciones COMAC aborda la unificación de las funciones de autenticación, tarificación y procesamiento del plano de datos (la nueva entidad CUPF). Además, COMAC permite aplicar soluciones de network slicing combinando diferentes tipos de acceso y de núcleo de la red.

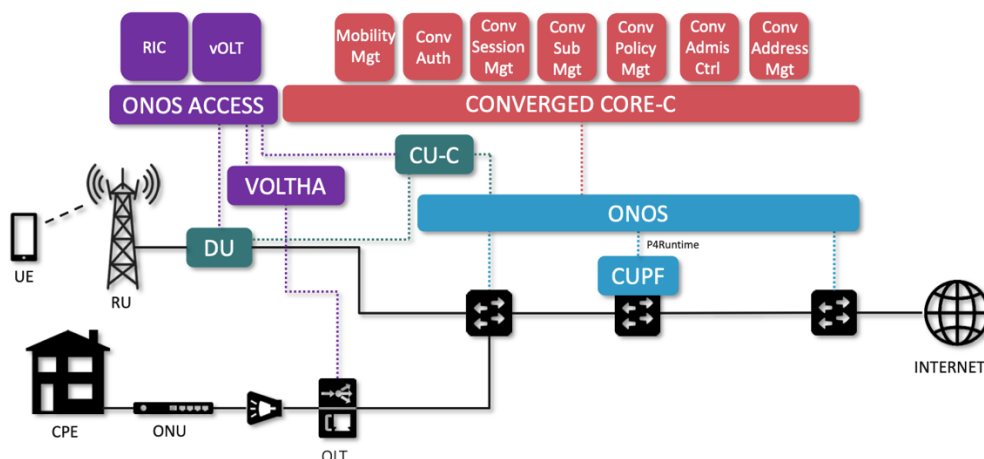


Figura 10 COMAC. Integración de todos los proyectos ejecutados por la ONF. Fuente: [21]

3.2. OTRAS INICIATIVAS RELEVANTES

OPNFV [22] es un proyecto colaborativo del consorcio tecnológico Linux Foundation que, al igual que CORD, aborda la transformación de las centrales locales en centros de datos. La propuesta, llamada Virtual Central Office (VCO) [23], analiza cómo se pueden satisfacer las necesidades de las redes residenciales, corporativas y móviles, a través de soluciones basadas en NFV y SDN. Los componentes software que construyen VCO son diferentes a los de CORD. VCO se soporta sobre OpenStack y Kubernetes, al igual que CORD, pero como controlador SDN utiliza OpenDaylight en lugar de ONOS, y como orquestador NFV utiliza ONAP en lugar de XOS. La topología de red de la central local también es semejante a la de CORD. Se trata de un conjunto de servidores de propósito general conectados a través de una red de conmutación SDN con topología leaf-spine.

Sobre esta infraestructura hardware, y haciendo uso de la plataforma de gestión y orquestación, VCO despliega los servicios de red. La virtualización de la red residencial y móvil sigue el mismo enfoque abordado por CORD. Es decir, se basa en virtualizar la OLT, el CPE, las unidades BBU o las entidades funcionales del núcleo de la red móvil.

Intel también ha compartido su visión sobre las centrales locales definidas por software (*Next-Generation Central Office* o NGCO) [24]. La arquitectura general de la central local es semejante a la de CORD o VCO, sin embargo, Intel se centra en aspectos relacionados con la aceleración del procesamiento de paquetes del plano de datos, en la optimización del uso de los recursos de la infraestructura NFV, y en cuestiones de rendimiento de las VNFs y servicios de red. En realidad, todas las iniciativas siguen el mismo enfoque de diseño. Las diferencias se encuentran en las herramientas que se utilizan para gestionar la infraestructura NFV o en detalles de implementación de las funciones de red.

4. REFERENCIAS

- [1] “Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture”, ETSI GS MEC 003 V2.1.1, 2019
- [2] “Multi-access Edge Computing (MEC); Phase 2: Use Cases and Requirements”, ETSI GS MEC 002 V2.1.1, 2018
- [3] “Developing Software for Multi-Access Edge Computing”, ETSI, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp20ed2_MEC_SoftwareDevelopment.pdf
- [4] “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System;”, 3GPP TS 23.501 V16.0.2, 2019
- [5] Stefan Rommer, Peter Hedman, Magnus Olsson, Lars Frid, Shabnam Sultana, Catherine Mulligan, Chapter 6 - Session management, Editor(s): Stefan Rommer, Peter Hedman, Magnus Olsson, Lars Frid, Shabnam Sultana, Catherine Mulligan, 5G Core Networks, Academic Press, 2020, Pages 111-136, ISBN 9780081030097
- [6] “MEC in 5G networks”, ETSI, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp28_mec_in_5G_FINAL.pdf
- [7] “Mobile Edge Computing (MEC); Deployment of Mobile Edge Computing in an NFV environment”, ETSI GR MEC 017 V1.1.1, 2018
- [8] “How Do You Keep Pace With a 100,000 Percent Increase in Wireless Data Traffic? Software”, AT&T, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: <https://about.att.com/innovationblog/3215howdoyoukeeppace>
- [9] L. Peterson et al., "Central office re-architected as a data center," in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 10, pp. 96-101, October 2016.
- [10] ONF website: <https://www.opennetworking.org>
- [11] OpenStack website: <https://www.openstack.org>
- [12] Pankaj Berde, Matteo Gerola, Jonathan Hart, Yuta Higuchi, Masayoshi Kobayashi, Toshio Koide, Bob Lantz, Brian O'Connor, Pavlin Radoslavov, William Snow, and Guru Parulkar. 2014. ONOS: towards an open, distributed SDN OS. In Proceedings of the third workshop on Hot topics in software defined networking (HotSDN '14). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–6.
- [13] Larry Peterson, Scott Baker, Marc De Leenheer, Andy Bavier, Sapan Bhatia, Mike Wawrzoniak, Jude Nelson, and John Hartman. 2015. XoS: An Extensible Cloud Operating System. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Software-Defined Ecosystems (BigSystem '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 23–30.
- [14] SEBA website: <https://www.opennetworking.org/seba/>
- [15] VOLTHA website: <https://www.opennetworking.org/voltha/>
- [16] SD-RAN website: <https://www.opennetworking.org/sd-ran/>
- [17] OMEC website: <https://www.opennetworking.org/omec/>
- [18] COMAC website: <https://www.opennetworking.org/comac/>
- [19] “O-RAN: Towards an Open and Smart RAN”, O-RAN Alliance, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: <https://www.o-ran.org/resources>
- [20] “SD-RAN ONF’s Software-Defined RAN Platform Consistent with the O-RAN Architecture”, ONF, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2020/03/SD-RAN-White-Paper.pdf>

- [21] “COMAC Converged Multi Access & Core”, presentación de Oguz Sunay (ONF). Disponible: <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2019/09/2pm-Oguz-Sunay-COMAC-Converged-Multi-Access-and-Core-.pdf>
- [22] OPNFV website: <https://www.opnfv.org>
- [23] “Open Source Project Spins Up A Virtual Central Office”, OPNFV, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: https://www.opnfv.org/wp-content/uploads/sites/12/2017/10/OPNFV_VCO_SolutionsBrief_Oct17.pdf
- [24] “Next-Generation Central Office (NGCO)”, Intel, white paper, último acceso: Mar. 2020. [Online]. Disponible: <https://www.intel.es/content/www/es/es/communications/network-transformation/packet-forwarding-platform-technology-whitepaper.html>