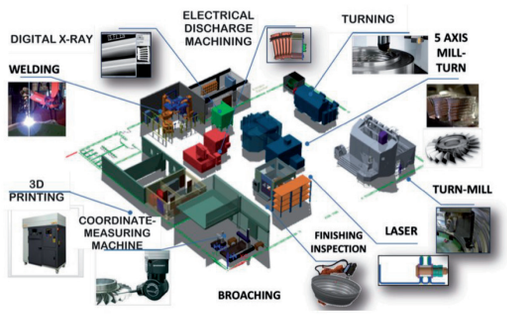
Hacia una infraestructura de fabricación flexible, conectada e integrable en redes 5G



Towards a 5G compliant and flexible connected manufacturing facility

Eduardo Jacob[1], Jasone Astorga[1], Juan José Unzilla[1], Maider Huarte[1], David García[1] y Luis Norberto López-de-Lacalle[2]

UPV/EHU. Escuela de Ingeniería de Bilbao. Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones[1] y Dpto. de Ingeniería Mecánica[2]. Pza. Ingeniero Torres Quevedo, 1 - 48013 Bilbao (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/8831 | Recibido: 09/05/2018 • Inicio Evaluación: 09/05/2018 • Aceptado: 23/07/2018

ABSTRACT

- The incoming smart Industry 4.0 envisions fully interconnected scenarios to boost the efficiency, quality and performance of industrial processes. In this context, communication technologies play a pivotal role as the key tool that enables the interconnection among a priori isolated business processes, making the most of them and resulting in more powerful business-level applications and decision-making. In this paper, we present the application of two cutting-edge telecommunication technologies, namely, network function virtualization (NFV) and software-defined networking (SDN), to the manufacturing industry, showing how these technologies can help improve manufacturing processes. We introduce the SN4I (Smart Networks for Industry) experimental facility, which is an NFV- and SDN-aware communication network that connects the University of the Basque Country with the Aeronautics Advanced Manufacturing Centre. In this regard, NFV provides a flexible way to deploy virtual services, while SDN allows the programming of network elements to interconnect these virtual services by means of virtual links or virtual networks. Both technologies guarantee full data and performance level isolation, ensuring that virtual services running over the same physical hardware or virtual links deployed over the same physical network will never interfere with one another. With the integration of NFV and SDN in manufacturing networks, the design, evaluation and deployment time of services that include computational, storage and networking resources is drastically decreased, facilitating innovation and optimizing network and hardware resource utilization.
- **Key Words:** 5G, experimental facility, Industry 4.0, manufacturing network function virtualization (NFV), software-defined networking (SDN).

RESUMEN

El concepto de Industria 4.0 que se está promoviendo actualmente, contempla escenarios completamente interconectados con el fin de aumentar la eficiencia, calidad y rendimiento de los procesos industriales. En este contexto, las tecnologías de comunicación juegan un papel clave como herramienta fundamental que permite la interconexión entre procesos de negocio a priori aislados, sacando el máximo partido de dichos procesos y derivando en aplicaciones y mecanismos de toma de decisiones a nivel de negocio más potentes. En este artículo presentamos la aplicación de dos tecnologías de telecomunicaciones punteras, como son la Virtualización de Funciones de Red (NFV) y las Redes Definidas por Software (SDN), a la industria de fabricación, mostrando cómo estas tecnologías pueden ayudar a mejorar los procesos de fabricación. Introducimos el despliegue experimental SN4I (Smart Networks for Industry), una infraestructura de cómputo y comunicaciones con capacidades NFV y SDN que interconecta la Universidad del País Vasco y el Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica. NFV proporciona un mecanismo flexible para el despliegue de servicios virtuales, mientras que SDN permite la programación de los elementos de red para interconectar los servicios virtuales a través de enlaces o redes virtuales. Ambas tecnologías garantizan total aislamiento tanto a nivel de datos como de rendimiento, asegurando que servicios virtuales ejecutándose sobre el mismo hardware físico o enlaces virtuales desplegados sobre la misma red física, nunca se interfieren entre sí. Gracias a estas tecnologías, el ciclo de diseño, prueba y despliegue de servicios que incluyen recursos de procesamiento, almacenamiento y comunicaciones puede reducirse y simplificarse drásticamente, facilitando la innovación y optimizando la utilización de los recursos hardware y de red.

Palabras Clave: 5G, facilidad experimental, fabricación, Industria 4.0, Redes Definidas por Software (SDN), Virtualización de Funciones de Red (NFV).

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, estamos asistiendo a una revolución en la forma de diseñar procesos de fabricación. Concretamente, el 1 de junio de 2017, el Parlamento Europeo aprobó una resolución para el desarrollo de una Estrategia de Digitalización Industrial Integrada". (*Integrated Industrial Digitalization Strategy*, IDS) para la Unión Europea, y uno de los cuatro pilares mencionados era "una infraestructura digital disruptiva". Este pilar tiene como objetivo no solo las aplicaciones, sino también las mejoras en infraestructuras, concretamente en ancho de banda y ciberseguridad nativa, con implicación privada y pública.

En términos de infraestructuras de comunicación, hay una tendencia establecida hacia la "softwarización de red" en la que lo que antes fueron comunicaciones y servicios inflexibles están siendo reemplazados por soluciones muy flexibles que implican equipamiento estándar de computación, estándares abiertos e implementaciones de código abierto.

Las tecnologías que pueden ser incluidas en esta nueva infraestructura (por ejemplo, las Redes Definidas por Software (*Software*

Defined Networking, SDN) [2] y la Virtualización de Funciones de Red (*Network Function Virtualization*, NFV) [3]) están siendo ya desplegadas en algunos casos y probadas en otros (como la 5ª generación de sistemas inalámbricos, 5G) en escenarios de proveedores de telecomunicaciones. Como es de esperar, estas tecnologías están disponibles en muchos casos con niveles altos de disponibilidad tecnológica (*Technology Readiness Level*, TRL).

En este contexto, el objetivo de este artículo es doble: (1) Describir el despliegue de tecnologías 5G, NFV y SDN en el Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica de la UPV/EHU (*CFAA*) [4] para crear procesos de fabricación inteligentes. Este despliegue tendrá como resultado la implementación de una instalación experimental llamada *Smart Networks for Industry* (SN4I), como una capa superior a la infraestructura de comunicación del CFAA. (2) Presentar los beneficios principales que la instalación SN4I aportará a los usuarios del CFAA, en comparación con las infraestructuras tradicionales sin virtualización. Brevemente, dichos beneficios para usuarios finales pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

- Primero, la red experimental estimulará la innovación en la industria de manufacturación, posibilitando el despliegue de servicios creados en oficinas técnicas y laboratorios de investigación a máquinas-herramientas reales, para permitir la experimentación en altos TRL en el contexto de Industria 4.0.
- Segundo, como resultado de las tecnologías NFV y SDN, que permiten la creación de servicios y redes virtuales que comparten infraestructuras físicas comunes, será posible optimizar el uso de recursos físicos y por lo tanto, ahorrar costes de inversión en infraestructuras de computación y red.
- También relacionado con la virtualización aportada por NVF y SDN, un tercer beneficio es el completo aislamiento entre servicios y comunicaciones, a la vez que se garantiza la conectividad total. Es decir, distintos servicios virtuales que comparten un recurso de computación físico no interfieren entre sí, ni en rendimiento ni a nivel de datos, y lo mismo puede decirse sobre diferentes enlaces virtuales de comunicación que compartan ancho de banda físico; no hay problemas de rendimiento ni amenazas a la privacidad de los datos. Además, los usuarios pueden beneficiarse de características avanzadas de seguridad como el cifrado a nivel de flujo de todas las comunicaciones para asegurar la confidencialidad de datos, y mecanismos de control de acceso de red que permiten otorgar o denegar acceso a la red dependiendo del servicio solicitado.
- Finalmente, un último beneficio para los usuarios finales es que todas las características y posibilidades aportadas por la arquitectura pueden resultar en el desarrollo de nuevos modelos de negocio basados en el uso compartido de recursos, el poco tiempo necesario para desplegar nuevos servicios y la integración directa con tecnologías Cloud.

Todos estos beneficios, y cómo la arquitectura puede ayudar a conseguirlos, se detallan en la Sección 3.

El resto del presente artículo está organizado de la siguiente forma: la Sección 2 explica los conceptos básicos de las tecnologías NFV y SDN y trabajos relacionados. La Sección 3 resalta los beneficios principales que SDN y NFV traerán a la industria de fabricación. La Sección 4 presenta la infraestructura SN4I y recopila algunos resultados esperados de su despliegue. Por último, la Sección 5 resume las conclusiones más importantes del artículo.

2. CONTEXTO

2.1. UNA BREVE INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS 5G, SDN Y NFV

La quinta generación de tecnologías inalámbricas (o 5G) incluye la siguiente generación de tecnologías de comunicación que permiten tasas de datos de hasta 1 Gbps por usuario y latencias extremo a extremo por debajo de 1 milisegundo, posibilitando movilidad de hasta 500 km/h y mejorando la eficiencia en consumo de energía, coste y espectro.

No nos vamos a centrar en los detalles técnicos de 5G [5]. Simplemente, vamos a remarcar que va a haber nuevas ofertas en aplicaciones relacionadas con la industria, tales como IoT (*Internet of Things*, la Internet de las Cosas).

Ya hemos mencionado SDN y NFV. Estas tecnologías juegan un rol determinante en las tecnologías 5G. Estos dos conceptos, que han evolucionado de forma independiente en los últimos años, están siendo ahora integrados para estimular beneficios en redes y servicios de telecomunicaciones.

Por un lado, la virtualización de funciones de red (NFV) tiene como objetivo trasladar conceptos del cloud computing al aprovisionamiento de redes. La idea básica del NFV es desacoplar funcionalidades (como el switching, routing y firewalling) de la infraestructura (tradicionalmente switches, routers, firewalls, etc.), reemplazándolos por servidores y switches genéricos, tal y como se muestra en la Fig. 1. En este enfoque, los servicios (p. e., una aplicación para capturar, agregar y analizar datos de sensores en una red de área extensa, *Wide Area Network*, WAN) se despliegan (p. e., equipamiento de interconexión, procesado y almacenamiento, y enlaces de comunicación) de forma automática utilizando la infraestructura disponible y garantizando la utilización óptima de los recursos físicos y el rendimiento de los servicios.

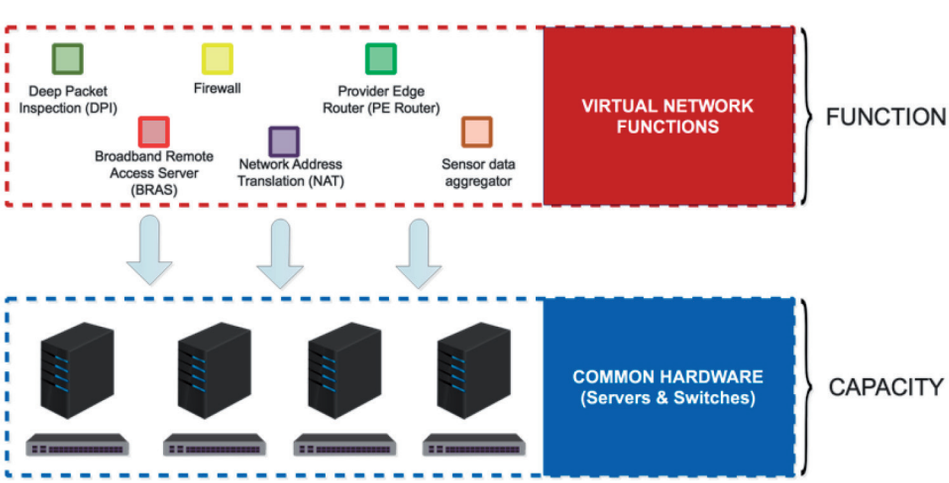


Fig. 1: Concepto de separación de funcionalidad e infraestrucura en NFV

Hace algunos años, el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) estandarizó un marco de arquitectura para NFV [6], repre-

sentado en Fig. 2. Es importante apreciar que este es el resultado de un grupo de especificación industrial, en el que están representados los actores principales de los sectores de TI y de los proveedores de telecomunicaciones.

Uno de los bloques más importantes de este marco es el de gestión y orquestación (*Management and Orchestration*, MANO), que consiste en tres elementos: el orquestador de NFV, el gestor de funciones virtuales de red (*Virtual Network Function*, VNF) y el gestor de infraestructura virtualizada (*Virtualized Infrastructure Manager*, VIM). MANO proporciona al usuario un interfaz para pedir los servicios deseados, e implementa también interfaces hacia los otros dos de bloques del marco (VNFs y NFVI), para instanciar las VNFs necesarias y asignar a cada una de ellas los recursos virtuales requeridos.

La infraestructura virtualizada de función de red (*Network Function Virtualized Infrastructure*, NFVI) es donde se encuentran los recursos virtuales de computación, almacenamiento y red. Dentro del NFVI hay una capa de virtualización que actúa sobre los recursos hardware reales para crear los recursos virtualizados. Esta virtualización extiende el concepto de computación virtualizada que se utiliza en Cloud Computing, a las tecnologías de red y almacenamiento.

Sobre el NFVI, pueden ejecutarse distintos servicios de red (*Network Services*, NSs). Estos NSs representan servicios reales que pueden estar compuestos de VNF y servicios de aplicaciones (bases de datos, servicios de procesamiento de datos, etc.) o servicios de red (firewalls, proxies, etc.). Los NSs se describen a través de VNFs (que, a su vez, están representados por descriptores) y enlaces virtuales (*Virtual Links*, VLs) que los interconectan. Los descriptores de NS son utilizados por MANO, que desplegará las correspondientes VNF y VLs sobre el NFVI. La fig. 3 muestra un ejemplo de descriptor NS.

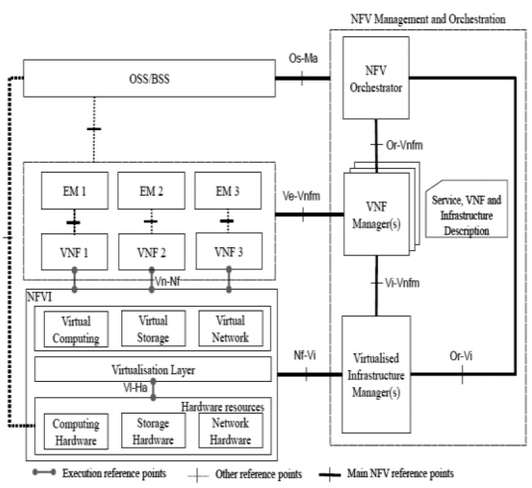


Fig. 2: Marco de arquitectura NFV de ETSI

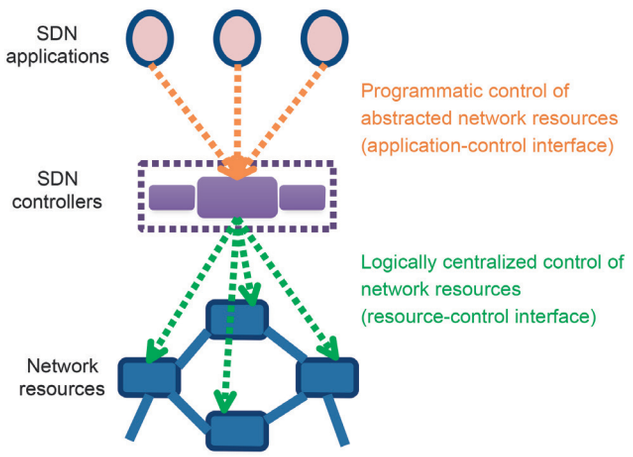
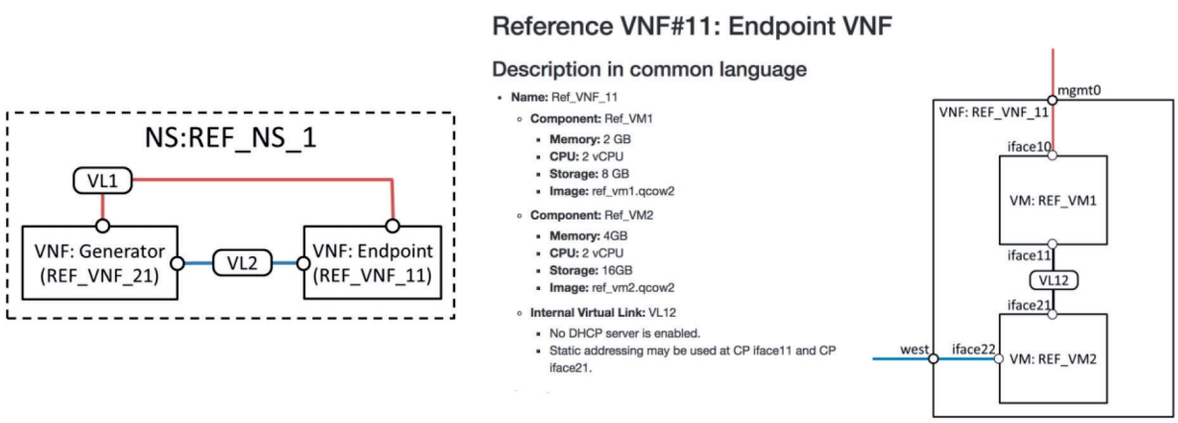


Fig. 4: Diferentes planos en SDN

Por otro lado, el concepto de SDN se basa en separar las dos funcionalidades principales de los dispositivos de red: el reenvío de paquetes y las condiciones por las que este reenvío tiene lugar. La primera, el reenvío de paquetes, se lleva a cabo en el plano de datos y cada dispositivo de red la realiza de manera local. La segunda, el control del reenvío de paquetes, se realiza en el plano de control y puede estar implementada de forma distribuida o centralizada.

Los dispositivos de red tradicionales basan su funcionamiento en planos de control distribuidos. Así, dichos dispositivos de red implementan protocolos específicos e intercambian mensajes para garantizar que todos ellos toman decisiones coherentes al reenviar, asegurando que los paquetes alcanzan su destino final. SDN, sin embargo, saca el plano de control fuera de los dispositivos de red y lo implementa dentro de un servidor centralizado, que tiene conocimiento total de la topología controlada y el estado de la red. Tal y como se observa en Fig. 4, el servidor centralizado que implementa el plano de control se llama controlador SDN (*SDN controller*) y es donde se ejecutan las aplicaciones SDN. Para ello, el controlador debe ser capaz de programar los dispositivos de red de forma que se comporten como la correspondiente aplicación SDN requiera. Para ello, se necesitan interfaces y protocolos abiertos, siendo OpenFlow [7] el más representativo.



(a) Ejemplo de descriptor NS *(b) Ejemplo de descriptor VNF*

Fig. 3: Ejemplo de descriptor de un NS, consistente en dos VNFs conectadas por dos VLs

Tanto NFV como SDN han supuesto beneficios revolucionarios para las redes de telecomunicaciones. En el caso de NFV, permite el incremento de la elasticidad de la red, lo que es esencial para optimizar la utilización de sus recursos. SDN, por otra parte, posibilita que la red sea programable y reconfigurable. Así, es posible conseguir una buena abstracción con respecto a la infraestructura subyacente. Por eso, la tecnología SDN es una clara candidata para desplegar bajo demanda los Enlaces Virtuales (*Virtual Links, VLs*) que se necesiten para conectar las Funciones de Red Virtualizadas (*Virtual Network Functions VNFs*).

Cuando NFV y SDN trabajan de forma conjunta, se consigue la virtualización extremo a extremo de los servicios. Es decir, NFV aporta una forma de implementar las diferentes funciones de red que necesita la aplicación de forma eficiente sobre servidores x86 tradicionales; y SDN proporciona la forma de interconectar esas funciones de red, que pueden alojarse en distintas infraestructuras físicas, por medio de enlaces virtuales. Para que esto sea posible, el MANO debe poder comunicarse con y pedir servicios a la VNFI.

Así, como resultado de utilizar las tecnologías NFV y SDN, es posible eliminar el hardware dedicado y propietario y desplegar servicios sobre hardware genérico, con el correspondiente ahorro en costes. Este entramado de recursos de computación, almacenamiento y red, flexibles y de buen rendimiento, disponibles rápidamente bajo control centralizado, agiliza el testeo y despliegue de nuevos procesos y servicios de fabricación.

2.2. TRABAJOS RELACIONADOS

NFV y SDN son tecnologías de computación y comunicación nuevas y disruptivas que en los últimos años han emergido de los laboratorios de investigación a los centros de datos y redes de operadores.

Una solución destacable es la estrategia de arquitectura para virtualización de red UNICA de Telefónica [8]. Telefónica, un importante proveedor de Internet (*Internet Service Provider*, ISP), es también miembro fundador del ETSI *Industry Specification Group* (ISG) para NFV y está muy involucrado en la definición de una estrategia de virtualización de red para la industria. La propuesta de Telefónica es una de las más relevantes en este campo, soportando el despliegue de redes futuras sobre tecnologías NFV/SDN. Consiste en una red completamente virtualizada y programable que reduce costes haciendo que la capacidad se ajuste a la demanda de forma flexible y rentable. Además, posibilita la comercialización fácil y rápida de nuevos servicios.

Respecto a SDN, muchas organizaciones han comenzado a integrar esta tecnología en sus redes atraídas por los beneficios de tener un plano de control lógicamente centralizado y un alto nivel de granularidad en flujos. Por ejemplo, ESNet [9], la red de computadores de alta velocidad que da servicio al Departamento de Energía de Estados Unidos, ha desarrollado el marco OSCARS [10] para propiciar circuitos virtuales multi-dominio y de gran ancho de banda que garantizan transferencias de datos de extremo a extremo de la red. De forma similar, Géant, la red Panaeuropea de Investigación y Educación, ha empezado a migrar su servicio de ancho de banda bajo demanda (*Bandwidth On Demand*, BoD), que actualmente se proporciona con la herramienta AUTOBAHN [11, 12], a tecnologías SDN utilizando el marco DynPaC [13]. Otro ejemplo es el caso de Internet2 [14], que está mejorando su servicio BoD con soporte OpenFlow 1.3 para evolucionar del aprovisionamiento de circuitos de nivel 2 estáticos a circuitos dinámicos.

Grandes compañías de telecomunicaciones están también apostando por aplicar SDN a sus redes para optimizar las comunicaciones sobre redes de área extensa (WANs) entre Centros de Proceso de Datos. Por ejemplo, Google utiliza una solución basada en SDN para optimizar la utilización de enlaces en su WAN interna B4 [15]. De forma similar, Microsoft Research utiliza OpenFlow y mecanismos de realojamiento y desagregación de tráfico para mejorar la utilización de recursos de red [16]. Otras compañías como AT&T [17], han empezado también a optimizar el funcionamiento de sus redes mediante tecnologías SDN.

Respecto a soluciones comerciales, fabricantes de equipamiento de redes están también incluyendo soporte para SDN en sus productos. En algunos casos, la definición de SDN mejora las tecnologías disponibles actualmente, como por ejemplo en el caso del Cisco WAN Automation Engine [18], una herramienta que proporciona servicios optimizados como BoD, rutado premium y balanceo global. De forma similar, NorthStar Controller de Juniper Networks [19] se basa en la visibilidad granular y control de redes IP/MPLS para optimizar la utilización de infraestructuras de red, teniendo también en cuenta restricciones específicas definidas por el usuario. Otros fabricantes, algunos nuevos (tales como Corsa, Arista y NoviFlow) y otros tradicionales (como HPE, Juniper y NEC) han apostado por nuevas tecnologías como OpenFlow para desarrollar y vender soluciones basadas en SDN.

La Comisión Europea ha promocionado también la investigación en NFV y SDN a través de muchos proyectos tales como los proyectos del Séptimo Programa Marco (FP7) T-NOVA [20] y UNIFY [21]. El objetivo del primero es posibilitar que los operadores puedan ofrecer VNFs a sus clientes como servicios, mientras que en el segundo se combinan tecnologías cloud y redes de operador para promover la innovación e incrementar el rendimiento. Respecto al programa H2020, uno de los objetivos del *5G Public-Private Partnership* (PPP) de la Comisión Europea es identificar industrias verticales clave e integrarlas en el paradigma 5G [22], relacionando los requisitos de estas industrias con los objetivos de diseño de 5G. En ese sentido, SONATA [23] abordó el desarrollo y despliegue de servicios complejos de red que integraban soluciones SDN y NFV. Otro trabajo interesante es el proyecto VirtuWind [24], que aprovechó los beneficios de SDN y NFV para desarrollar una infraestructura de red rentable para el control de parques eólicos. Además, 5GEx [25] introdujo tecnologías NFV y SDN para crear una solución de orquestación multi-dominio que facilita la colaboración entre operadores 5G.

Así, de acuerdo con el estado del arte actual en despliegue de tecnologías SDN y NFV en redes industriales, la arquitectura propuesta es una solución nueva y está alineada con la estrategia de la Comisión Europea para estimular industrias clave integrando tecnologías 5G. De hecho, la industria tiene su propio nicho de protocolos de comunicación y aplicaciones que son muy específicas, y esto puede ser un reto para la integración de nuevas tecnologías como SDN y NFV. Aun así, la integración de SDN con SmartGrids [26] y protocolos de Ethernet Industrial como HSR [27] y PRP [28] ha sido ya demostrada. Además, el impacto y la contribución de SDN a la ciberseguridad también han sido estudiados [29]. Ese trabajo demuestra que es esperable una integración más fuerte entre las tecnologías SDN, NFV y 5G, y que ello contribuirá a la "Estrategia de Digitalización Industrial integrada".

3. BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE SDN Y NFV EN REDES INDUSTRIALES PARA FABRICACIÓN

En el contexto de redes industriales, y más concretamente, en las industrias de fabricación, NFV y SDN pueden marcar la diferencia tal y como se ha demostrado en redes de operador [30], y se está viendo también su aplicación en otras industrias verticales

[31]. La integración de estos dos nuevos conceptos en la red de planta de las industrias de fabricación, puede llevar no sólo a una mejor utilización de los recursos físicos disponibles sino también al desarrollo y despliegue de nuevos e innovadores servicios de fabricación. Además, esto puede resultar en mejorar la eficiencia, precisión y calidad del proceso final de fabricación, lo que sin duda conllevará un incremento de beneficios del negocio.

Integrar tecnología NFV en redes de fabricación será algo similar a subir a la nube no sólo aplicaciones y datos sino también funcionalidades de red. Un catálogo de VNFs y NSs estará disponible para los responsables de IT que podrán desplegar servicios y sus correspondientes funciones con un simple click de ratón.

De hecho, una vez que la infraestructura física (computación, almacenamiento y red) se abstrae a una infraestructura virtual, todos los recursos físicos de computación, almacenamiento y red constituyen un repositorio común de recursos virtuales, que serán utilizados por los VNFs que los requieran bajo la supervisión de un MANO. Además, a la hora de decidir qué recursos físicos van a utilizarse para implementar un servicio concreto, no se tiene en cuenta solamente la optimización de los recursos de computación y almacenamiento, sino que también se busca la utilización eficiente de la red (en cuanto a rendimiento, pero también, por ejemplo, en el coste de alquiler de enlaces).

Pueden utilizarse varios criterios para decidir el emplazamiento de la computación y el almacenamiento: proximidad con el origen de los datos, en el borde del núcleo de red para contenido que llegue de fuera de la misma, replicados y distribuidos en varias ubicaciones físicas, etc. Por ejemplo, dado un servicio que obtiene datos de diferentes máquinas-herramientas, los almacena en una base de datos y después los procesa para tomar alguna decisión de nivel de negocio, MANO puede decidir desplegar la aplicación de base de datos en recursos físicos que estén cerca de las propias máquina-herramientas que generan los datos para evitar grandes volúmenes de información viajando por la red. Los recursos de computación necesarios para procesar esos datos estarán también desplegados cerca de donde se almacenan, con una aplicación front-end desplegada a su vez cerca del usuario final. Esto minimiza el tránsito de datos por la red, lo que reduce el consumo de recursos y permite políticas de seguridad más detalladas.

Otro beneficio de NFV es que proporciona aislamiento tanto a nivel de datos como en rendimiento. Es decir, aunque diferentes servicios virtuales puedan compartir recursos físicos comunes, está garantizado que cada uno de los servicios virtuales obtendrá la parte necesaria de dichos recursos. De forma similar, también está asegurado que no habrá problemas de confidencialidad derivados de que un servicio acceda a datos gestionados por otro con el que comparte la misma infraestructura física.

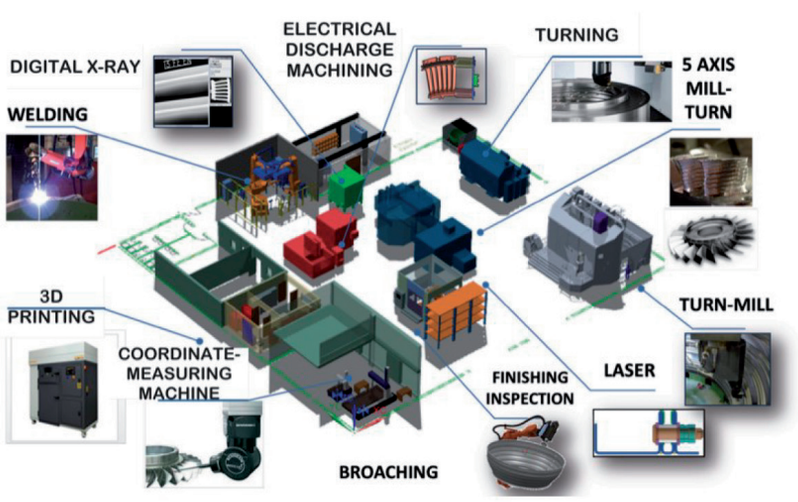


Fig. 5: Equipamiento del Centro de Fabricación Avanzada Aeronaútica

Igualmente, SDN proporciona a nivel de red el mismo aislamiento que NFV en el de computación y almacenamiento. Es decir, gracias a la alta granularidad posibilitada por SDN para clasificar tráfico de red, se pueden definir flujos de tráfico todo lo específicos o granulares que se necesiten, implementado así enlaces completamente aislados e independientes dentro de una red física. Así, distintos servicios y aplicaciones pueden coexistir dentro de la misma red física y cada uno de ellos obtendrá su parte de recursos de red o de ancho de banda sin interferir entre ellos.

Además, SDN y NFV facilitan la implantación de mecanismos de seguridad. Por ejemplo, la confidencialidad de datos puede estar protegida por el cifrado de todos los flujos de datos que viajan por la red; asimismo, el acceso a la red está también controlado a nivel MAC (*Medium Access Control*) debido al uso de mecanismos como FlowNAC [32], proporcionando micro-segmentación real.

Por último, se prevé que puedan crearse nuevos modelos de negocio que hereden la utilización compartida de recursos posibilitada por las tecnologías NFV y SDN. De esta forma, se podría optimizar la utilización de recursos de red al mismo tiempo que la resiliencia, flexibilidad, aislamiento, seguridad e innovación a nivel de servicio y red se incrementan.

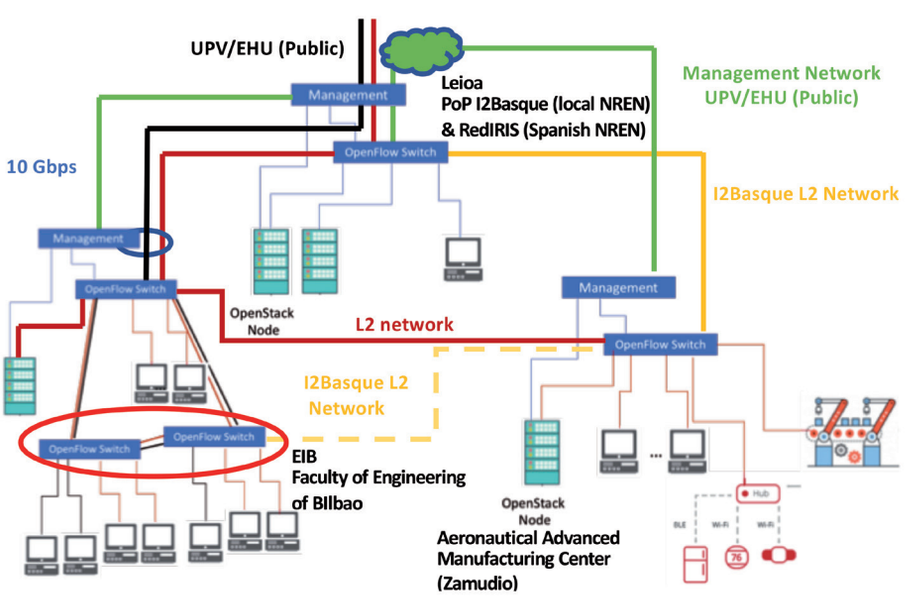


Fig. 6: Esquema de Smart Networks for Industry (SN4I)

4. EL CENTRO DE FABRICACIÓN AVANZADA AERONÁUTICA Y LA UTILIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SDN Y NFV

Recientemente, la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), junto con empresas de fabricación y el apoyo financiero de gobierno autonómico y administraciones locales, ha promovido el CFAA [4]. Esta infraestructura cuenta con una inversión de 9 M € que alcanzará los 16 M € en 7 años. El CFAA posee una planta de fabricación con equipamiento real, tal y como se muestra en la Fig. 5, para desarrollar tecnologías de fabricación avanzada en niveles de desarrollo que permiten transferencia rápida al tejido industrial del sector.

Respecto a la experimentación con tecnologías SDN y NFV, hay que recalcar que la UPV/EHU operó una de las primeras redes de experimentación OpenFlow, llamada EHU-OEF [33]. La evolución de esa red, llamada SN4I (*SmartNetworks for Industry*), está representada gráficamente en Fig. 6. El objetivo de SN4I es proporcionar una red flexible para permitir la experimentación en nuevos paradigmas de procesos y plantas de fabricación. Esta infraestructura, que ha empezado a funcionar en verano del 2018, interconecta los laboratorios de investigación de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, el Punto de Presencia (P*oint Of Presence*, PoP) de RedIRIS, la Red de Investigación y Docencia Nacional (*National Research and Education Network, NREN*) e I2Basque (el NREN vasco) en la UPV/EHU y el CFAA.

La infraestructura NFVI de SN4I consiste en una red de nivel 2 basada en OpenFlow que soporta el despliegue de servicios de industria 4.0 basados en NFV, apoyándose en el orquestador *Open Source Mano* (OSM) de ETSI que trabaja con OpenStack (un gestor de infraestructuras virtual de código abierto, muy popular [34]) y otros VIMs especializados.

Tal y como muestra la Fig. 6, la red SN4I ha sido diseñada para interconectar tres ubicaciones físicas alejadas: la Escuela de Ingeniería de Bilbao de la UPV/EHU, la central de dicha universidad en Leioa (aproximadamente a 10 km de Bilbao) y el CFAA en Zamudio (a uno 12 km de Bilbao y 17 km de Leioa). En cada una de esas ubicaciones, se ha desplegado un nodo de infraestructura virtual gestionado por OpenStack como VIM. Cada nodo OpenStack consiste en varios servidores físicos: uno de ellos actúa como controlador mientras que el resto son nodos de computación que proporcionan un conjunto de recursos.

Las tres ubicaciones están interconectadas a nivel 2 con una tasa de datos de 1 Gbps (10 Gbsp en 2019) gracias a enlaces de fibra óptica y un conjunto de switches OpenFlow. En la actualidad, esta red consiste en 5 switches OpenFlow interconectados (3 en Bilbao, 1 en Leioa y 1 en el CFAA de Zamudio) formando un anillo con enlaces proporcionados tanto por la UPV/EHU como por I2Basque. Es posible que, en un futuro cercano, se proporcione un segundo enlace entre la Escuela de Ingeniería de Bilbao y el CFAA (representado con una línea de puntos en Fig. 6), para conseguir una arquitectura más compleja en la que se posibiliten caminos redundantes. La gestión de los nodos OpenStack y los switches OpenFlow se realiza fuera de banda, utilizando la red de nivel 3 de la UPV/EHU.

Los tres nodos OpenStack están gestionados por un MANO ubicado en los locales de la Escuela de Ingeniería de Bilbao para facilitar la creación de VNFs consistentes en elementos distribuidos entre las tres ubicaciones. Para crear los enlaces virtuales que interconectan los distintos elementos de una VNF distribuida entre las tres ubicaciones, el MANO se comunica con un controlador situado también en la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

Además, en el controlador SDN, se ejecuta la aplicación SDN DynPaC [13] que permite calcular dinámicamente caminos tolerantes a fallos entre los diferentes puntos, optimizando a su vez la utilización de los recursos de red. Así, DynPaC actúa como un WIM (gestor de infraestructura de área extensa, *Wide Area Infrastructure Manager*) bajo el OSM de ETSI. Dados unos puertos origen y destino, DynPaC calcula el camino más corto posible entre esos dos puntos que tenga el ancho de banda garantizado, teniendo en cuenta el estado de la red. Para proporcionar resiliencia, por cada servicio solicitado DynPaC también calcula un camino "de reserva" para ser utilizado en caso de fallo en el camino primario. Además, DynPaC integra funcionalidades de calendario, haciendo posible programar servicios que comiencen y finalicen en el futuro.

Como resultado, SN4I proporcionará un particionado (slicing) de red, computación y almacenamiento para el despliegue de servicios concurrentes aislados y para experimentación. Este despliegue estudiará también la integración de tecnologías NFV con los protocolos de Internet industrial y la coexistencia con otras redes, tales como Redes Sensibles al Tiempo (*Time-Sensitive Networking*, TSN). Así, SN4I complementará la investigación y actividad tradicional en el campo de fabricación del CFAA, con tecnologías de red que constituyen el estado de arte tales como la creación bajo demanda de servicios de gran ancho de banda y bajo retardo, y seguridad basada en SDN. La integración de todas estas tecnologías con máquina-herramienta y procesos avanzados de fabricación proporcionarán un centro mixto de I+D+i en tecnologías de fabricación conectadas avanzadas, que se convertirá en referencia a nivel internacional.

4.1. RESULTADOS DEL DESPLIEGUE DE SN4I

El despliegue de la infraestructura SN4I representa un salto cualitativo en la forma en la que los procesos de fabricación pueden ser desplegados y operados, permitiendo el diseño de nuevas características y funcionalidades que no son posibles con las actuales tecnologías de comunicación y computación, convirtiéndose en piedra angular para fomentar la creación de nuevos modelos de negocio. Los beneficios de la virtualización de computación en términos de flexibilidad y rapidez de despliegue son ya bien conocidos.

Podemos evaluar el rendimiento del sistema basado en SDN al calcular y desplegar enlaces virtuales utilizados para interconectar diferentes componentes de una VNF. Hemos medido el tiempo necesitado por la infraestructura para calcular un camino de extremo a extremo cuando un nuevo servicio virtual es desplegado. Para ello, hemos diseñado un escenario de evaluación utilizando *Mininet* [35] para simular una red compuesta por 14 OpenvSwitches (OVS, un switch basado en software) con soporte OpenFlow 1.3, como puede observarse en Fig. 7. Esta topología es más compleja que la mayoría de las topologías desplegadas en instalaciones industriales. Todos los OVS son controlados por ONOS 1.4 (un controlador SDN estándar de alta aceptación) con DynPaC instalado. Toda esta configura-

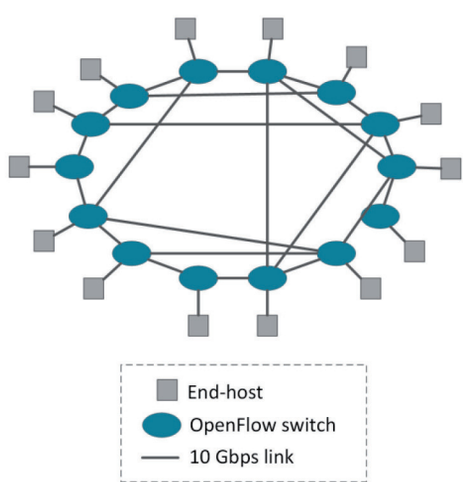


Fig. 7: Topología de red utilizada para evaluación de rendimiento

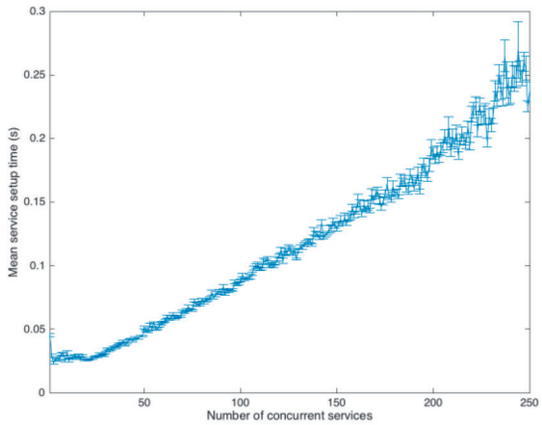


Fig. 8: Tiempo de establecimiento de servicio dependiendo de la cantidad de servicios concurrentes

ción se ejecuta en una máquina Ubuntu con 12 GB de RAM y 4 cores dedicados de un procesador Intel i7 a 3,40 GHz.

En este escenario, hemos medido el tiempo necesario para calcular caminos para peticiones de servicio de ancho de banda aleatorias, con nodos origen y destino seleccionados aleatoriamente. Los resultados, representados gráficamente en Fig. 8 (tiempo de establecimiento medio, intervalo de confianza del 95%), demuestran que, para una red no saturada, el tiempo de establecimiento de conexión (setup) aumenta linealmente con la cantidad de servicios desplegados. En cualquier caso, incluso después de 250 servicios solicitados, el tiempo de *setup* se mantiene por debajo de los 0.3 segundos, lo que es un resultado muy bueno.

Como conclusión, la infraestructura habilitada con SDN y NFV posibilita la creación y el desarrollo de nuevos servicios de forma automática y casi en tiempo real, con el click de un ratón. Esto es una mejora enorme en comparación con la situación actual, en la que la creación de un nuevo servicio se realiza de forma manual y pueden pasar semanas hasta que la configuración requerida está terminada y todos los servicios de red necesarios proporcionados.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo es resaltar cómo los nuevos avances en las tecnologías de comunicación pueden ayudar a desarrollar la Industria 4.0, proporcionando a su vez claves para entenderlas. Nos centramos en el concepto 5G promocionado por la Unión Europea y, más concretamente, en dos tecnologías innovadoras actualmente en desarrollo, NFV y SDN, que permiten la implementación del concepto 5G.

En este aspecto, presentamos la instalación experimental SN4I. Esta instalación basada en NFV se ejecuta sobre una red central basada en SDN, que interconecta varias ubicaciones de la UPV/EHU y el CFAA. Como resultado, es posible crear particiones de red (slices) completamente aisladas que alberguen servicios que comprendan computación, almacenamiento y funcionalidades de red, todo sobre la misma infraestructura física. Además, esta propuesta mejora el tiempo de diseño y despliegue de nuevos servicios.

Poner esta instalación, basada en estándares y software abiertos, a disposición de expertos en fabricación, proporcionará una herramienta única para apoyar la innovación y experimentación de procesos de fabricación industrial, validando a su vez los beneficios que SDN y NFV pueden proporcionar al caso Vertical de la fabricación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] IDS European Commission, DIGITISING EUROPEAN INDUSTRY, seen http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-connected-digital-single-market/file-digitising-european-industry
[2] Open Networking Foundation, https://www.opennetworking.org
[3] Network Functions Virtualization Introductory White Paper, ETSI NFV ISG, https://portal.etsi.org/nfv/nfv_white_paper.pdf
[4] Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica, https://www.ehu.eus/es/web/CFAA/home
[5] 5G Architecture White Paper V2.0, 5GPPP, https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/01/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper-Jan-2018-v2.0.pdf
[6] Network Functions Virtualization White Paper 2. October 15-17, 2013 at the "SDN and OpenFlow World Congress", Darmstadt-Germany. https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper2.pdf
[7] ONF. "OpenFlow Switch Specification 1.5.0," OpenFlow - Open Networking Foundation, 2013
[8] D. Cooperson and C. Chappell, "Telefónica's UNICA architecture strategy for network virtualisation", White Paper, July 2017
[9] ESnet, http://www.es.net/
[10] ESnet's OSCARS with FloodLight, https://github.com/hsr/oscars-gui
[11] C. Guok, D. Robertson, M. Thompson, J. Lee, B. Tierney and W. Johnston, "Intra and interdomain circuit provisioning using the OSCARS reservation system", in Proceedings of the 2006 3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, 2006, pp. 1-8. (http://dx.doi.org/10.1109/BROADNETS.2006.4374316)
[12] Autobahn, https://geant3.archive.geant.org/service/autobahn/pages/home.aspx
[13] DynPAC: Dynamic and Adaptive Traffic Engineering for SDNs, https://tnc15.terena.org/core/presentation/123
[14] Internet2's advanced layer 2 service, https://www.internet2.edu/products-services/advanced-networking/layer-2-services/layer-2-services-details/
[15] S. Jain, A. Kumar, S. Mandal, J. Ong, L. Poutievski, A. Singh, S. Venkata, J. Wanderer, J. Zhou, M. Zhu et al., "B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN," in Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM, 2013, pp. 3-14. (doi: 10.1145/2534169.2486019)
[16] C.-Y. Hong, S. Kandula, R. Mahajan, M. Zhang, V. Gill, M. Nanduri and R. Wattenhofer, "Achieving high utilization with software-driven WAN", in Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM, 2013, pp. 15-26. (http://dx.doi.org/10.1145/2534169.2486012)
[17] AT&T, "AT&T Domain 2.0 Vision White Paper", Tech. rep., White Paper, November 2013
[18] Cisco WAN Automation Engine (WAE), https://www.cisco.com/c/en/us/products/routers/wan-automation-engine/index.html
[19] Juniper Networks Northstar Controller, https://www.juniper.net/us/en/products-services/sdn/northstar-network-controller/
[20] T-NOVA: Network Functions as-a-service over virtualised infrastructures", FP7 Project, http://www.t-nova.eu/
[21] UNIFY: Unifying Cloud and Carrier Networks", FP7-ICT Project, https://cordis.europa.eu/project/rcn/189119_en.html
[22] 5GPPP, "5G empowering vertical industries", White Paper, 2016, https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf
[23] SONATA: Service Programming and Orchestration for Virtualized Software Networks, 5GPPP H2020-ICT Project, http://www.sonata-nfv.eu/
[24] VirtuWind: Virtual and programmable industrial network prototype deployed in operational wind park, 5GPPP H2020-ICT Project, http://www.virtuwind.eu/
[25] 5GEx: 5G Exchange, 5GPPP H2020-ICT Project, http://www.5gex.eu/
[26] E. Molina, E. Jacob, J. Matias, N. Moreira and A. Astarloa, "Using software defined networking to manage and control IEC 61850-based systems", Computers & Electrical Engineering. April 2015. Vol. 43, P. 142-154. (doi https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2014.10.016)
[27] E. Molina, E. Jacob, N. Toledo and A. Astarloa, "Performance Enhancement of High-Availability Seamless Redundancy (HSR) Networks Using OpenFlow", IEEE Communications Letters. February 2016. Vol. 20-2, P. 364 – 367. (doi https://doi.org/10.1109/LCOMM.2015.2504442)
[28] E. Molina, E. Jacob and A. Astarloa, "Using OpenFlow to control redundant paths in wireless networks", Network Protocols and Algorithms. 2016. Vol. 8-1, P. 90-103. (doi https://doi.org/10.5296/npa.v8i1.8730)
[29] E. Molina and E. Jacob, "Software-Defined Networking in Cyber-Physical Systems: a survey", Computers and Electrical Engineering. February 2018. Vol. 66, P. 407-419. (https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.05.013)
[30] A.D. Little, "Reshaping the future with NFV and SDN", https://sdn.ieee.org/images/files/pdf/adl_belllabs_2015_reshapingthefuture.pdf
[31] Ericsson, "The Industry Impact of 5G", https://www.ericsson.com/assets/local/narratives/networks/documents/report-bnew-18000486-rev-a-uen.pdf
[32] J. Matias, J. Garay, A. Mendiola, N. Toledo and E. Jacob, "FlowNAC: Flow-based Network Access Control", in Proceedings of the Third European Workshop on Software Defined Networks, 2014, pp. 79-84. (https://doi.org/10.1109/EWSDN.2014.39)
[33] UPV/EHU OpenFlow Enabled Facility, http://i2t.ehu.eus/resources/ehu-oef
[34] What is OpenStack, The OpenStack Project, https://www.openstack.org/software/
[35] Mininet, An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC), http://mininet.org

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo está financiado por la Comisión Europea a través del Programa Horizon 2020 (GN4) con la ayuda 691567, y por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España a través del proyecto 5G-City TEC2016-76795-C6-5-R.