

## Red SDN para el Control Energéticamente Eficiente de un Aula Remota para la Elaboración de Prácticas Reales a Distancia

Marina Terrón-Camero<sup>1</sup>, Sandra Sendra<sup>1,2</sup>, Jorge Navarro-Ortiz<sup>1</sup>, Jaime Lloret<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de teoría de la señal, telemática y comunicaciones, ETS Ingenierías Informática y de Telecomunicación. Universidad de Granada

C/ Periodista Daniel Saucedo Aranda, s/n. E-18071 Granada

<sup>2</sup> Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras. Universitat Politècnica de València, Valencia

C/Paraninf, 1. 46730. Grao de Gandia (Valencia)

[mtcmarina@correo.ugr.es](mailto:mtcmarina@correo.ugr.es), [ssendra@ugr.es](mailto:ssendra@ugr.es), [jorgenavarro@ugr.es](mailto:jorgenavarro@ugr.es), [jlloret@dcom.upv.es](mailto:jlloret@dcom.upv.es)

**Resumen-** La demanda de cursos de redes a distancia y semipresenciales está aumentando día a día en el sector de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). Para realizar este tipo de cursos se precisa tener laboratorios específicos que permitan la conexión remota, por lo que requieren que estén continuamente encendidos para su acceso. Este hecho implica un consumo de energía bastante elevado, aun cuando el laboratorio no está siendo utilizado. Además, el sector de las TIC es uno de los que presenta un consumo mayor a nivel mundial. Al ver la necesidad de controlar el consumo de estas instalaciones, se propone la implementación de un laboratorio real energéticamente eficiente, controlado mediante una red definida por software (SDN) de gestión. Se basa en un controlador y switches Openflow que en función del tipo de peticiones que reciba por parte de los usuarios remotos, distribuirá, de manera eficiente, el acceso a los diferentes laboratorios. Para ello, se implementa un algoritmo de control que ejecuta el controlador, y éste, actuará sobre diversos switches OpenFlow. Estos switches son los encargados de encender y apagar las diversas secciones de los laboratorios. Finalmente se simula el funcionamiento de este laboratorio para los 2 tipos de consumo de energía, es decir, usando la red de gestión SDN y cuando los laboratorios permanecen encendidos a la espera de las peticiones de conexión por parte de los usuarios. Los resultados demuestran que para el funcionamiento del laboratorio durante una semana, podríamos obtener un ahorro de energía cercano al 47%.

**Palabras Clave-** OpenFlow, prácticas de redes, eficiencia energética, redes definidas por software (SDN), Green Networking.

### I. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la Internet de las cosas (IoT) y el aumento del número de dispositivos conectados a Internet, la demanda de la gente para tener conectividad a Internet en todas partes está aumentando. Para poder satisfacer esta demanda, necesitamos desplegar más redes e interconectarlas. Esto implica un importante aumento en el consumo de energía. El desarrollo de nuevas tecnologías y redes de comunicación para dar soporte a todas estas nuevas aplicaciones ha incrementado el consumo de energía eléctrica y la huella de carbono. Hoy en día, el consumo de energía en el área de telecomunicaciones se calcula que es el 4% del consumo mundial de electricidad [1]. El número de usuarios de Internet y el tráfico enviado a través de la red ha aumentado drásticamente y esto está directamente relacionado con el consumo de energía en las telecomunicaciones. De hecho, el consumo mundial de energía casi se ha duplicado desde 1990 [2].

Las redes verdes (o *Green Networking*, en inglés), se han convertido en uno de los principales temas de interés a nivel de investigación. El término *Green Networking* es un amplio término referido a los

procesos utilizados para optimizar la red o hacerla más eficiente, a la vez que conservan el ancho de banda. Como consecuencia reducen de forma indirecta el coste económico. Además, el término 'green' puede llevar a confusión, debido a que también se suele usar para referirse a la energía sostenible, ahorro de agua, gas y electricidad y todo aquello que se considera 'smart', es decir, el uso de redes y tecnología inteligentes para la reducción del impacto medioambiental respecto a previas tecnologías.

Relacionado con este tema podemos encontrar diversas iniciativas, que van desde el desarrollo de protocolos especialmente diseñados para reducir el consumo de la red [3] [4] hasta la organización de las redes en determinadas topologías en función de la carga de red en los nodos, para mejorar la estabilidad de la red [5].

Sin embargo a nivel de red, hablar de *Green networking* implica hablar del uso de una tecnología que tiene beneficios medioambientales y que puede ser usada para soportar prácticas medioambientales más sostenibles. Esto se consigue buscando modos de funcionamiento menos costosos energéticamente, eligiendo cableado y materiales optimizados para este fin y en la elección de hardware con características energéticas reducidas [6].

Finalmente, debemos tener en cuenta que el rápido desarrollo que el sector de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), hace que se requieran mayor cantidad de personal cualificado y con amplios conocimientos en redes. Esto ha implicado que los cursos formativos han ido poco a poco adaptándose a las necesidades de los estudiantes. Esta adaptación, se ha realizado desde diferentes vertientes, pero una de ellas y tal vez la más importante, sea la implementación de cursos a distancia [7] que posibilitan la realización de prácticas remotas [8].

Ante la necesidad de implementar este tipo de aulas y teniendo en cuenta las diferentes investigaciones relacionadas con técnicas de ahorro de energía en redes, en este artículo presentamos la implementación de un laboratorio real que permitirá la realización de prácticas a distancia. El conjunto de laboratorios es controlada por una red de gestión basada en switches *OpenFlow* y un controlador que será el encargado de registrar las peticiones de conexión y establecer las reglas necesarias para redirigir a los usuarios a un laboratorio u otro y de conectar y desconectar los laboratorios según sean necesarios. El diseño parte de la idea de funcionamiento de los *elastic tree* diseñadas para la reducción del consumo de energía en los data center [9]. Los resultados nos muestran valores de ahorro de energía superiores al 40% en algunos casos.

El resto del artículo se estructura como sigue. La sección II recoge algunas de las principales iniciativas relacionadas con el ahorro de energía en las redes. En la sección III, se explica la arquitectura propuesta y el algoritmo implementado para la implementación de una red de gestión definida por software (SDN) para el control energéticamente eficiente del laboratorio

docente remoto. Los resultados obtenidos tras la simulación del escenario se muestran en la sección IV. Finalmente, las conclusiones y trabajos futuros se muestran en la sección V.

## II. TRABAJOS PREVIOS

Actualmente la sociedad científica está muy concienciada en el desarrollo y mejora de técnicas para la reducción del consumo de energía en las redes. Además, cada vez más se está intentando agregar estas iniciativas en los planes de estudios de grados relacionados con las TIC [10].

Tras analizar el tipo de arquitecturas desarrolladas para la realización de prácticas remotas, como por ejemplo, las presentadas por I. Santana et al. [11] y J. Sáenz [12], observamos que existen diversas propuestas para la realización de prácticas remotas. Sin embargo, en ninguna de ellas hemos encontrado la aplicación de una red de gestión para el control de acceso, y que además sea capaz de reducir el consumo de energía. Por ello, en esta sección nos centraremos en algunas de las propuestas más interesantes sobre reducción del consumo de energía en redes.

Las mejoras en términos de ahorro de energía pueden ser implementadas a distintos niveles, es decir, desde la modificación e inhabilitación del hardware inutilizado hasta la creación de nuevos protocolos de enrutamiento y MAC [13]. También es común encontrarnos con nuevos desarrollos de redes capaces de auto organizarse en función del tipo de variables sensadas, como es el caso de las redes basadas en grupo propuestas por J. Lloret et al. [14]. Sin embargo estas técnicas están siendo aplicadas sobre topologías tradicionales y en ningún caso se están aplicando sobre laboratorios de docencia.

Hoy en día, la tendencia de mejoras en las redes es bien distinta. Actualmente, se está tendiendo al uso de las SDN y la virtualización las redes [15]. A modo de resumen, podemos decir que las *SDNs* tienen como objetivo el facilitar la implementación y desarrollo de servicios de red de una manera determinista, dinámica y escalable, buscando reducir el papel del administrador de la red en las tareas de gestión de dichos servicios a bajo nivel.

J. M. Jimenez et al. [16] muestra una comparación de rendimiento entre Mininet y una red real cuando se entregan flujos multimedia. Los autores realizan la comparación en términos de ancho de banda consumido, delay y jitter. El estudio muestra que existen algunas diferencias importantes cuando se comparan estos parámetros, por lo que los autores presentan este trabajo como base para mostrar la diferencia con implementaciones reales cuando se usa Mininet.

D. Sarabia-Jácome et al [17] presentan una evaluación práctica donde se mide el consumo de energía en una red virtualizada. Para ello, hemos desarrollado una topología compuesta por varios enrutadores virtuales que emulan el núcleo de una red a través de la cual hemos enviado varios flujos de datos.

Las mediciones se han realizado utilizando *HTTP* y tráfico de flujo de vídeo mientras se ejecuta *Open Shortest Path First (OSPF)* y *Routing Information Protocol versión 2 (RIPv2)* como protocolos de enrutamiento. El resultado muestra que ambos protocolos presentan un comportamiento similar cuando se envía tráfico de flujo mientras *RIPv2* exige más uso de la CPU cuando se envía tráfico http. Por último, el consumo de energía en el tráfico http es siempre mayor.

La reducción del consumo de energía en las *SDN*, es hoy en día un tópico candente del que encontramos muy pocas referencias. Por ejemplo, B.B. Rodrigues et al. [18] exponen las dificultades que podemos encontrarnos al implementar un entorno *SDN* donde emular protocolos de ahorro de energía a diferentes capas de la red. Los autores proponen una solución llamada *GreenSDN*, basadas en el entorno de emulación *Mininet* y el controlador *POX OpenFlow* usando tres protocolos de red diseñados para el ahorro de energía. Los autores comparan los ratios de ahorros de energía obtenidos cuando estos protocolos son empleados. Los resultados muestran que la peor de las opciones, ofrecen ahorros de energía superiores al 15% y que este ahorro es más notable cuando la velocidad de transferencia de datos es mayor.

Finalmente, cabe destacar el concepto de *elastic tree* que está siendo aplicado para la reducción del consumo de energía global de un data center. Los *Elastic tree* [9] se aplican principalmente en el control de energía en redes de data center. Creemos que este mismo concepto puede ser aplicado a cualquier tipo de red donde exista una gran densidad de dispositivos de red. Nosotros, además, añadimos una red de gestión *SDN* basada en un controlador y *switches OpenFlow*, que serán los encargados de controlar en encendido y apagado de los laboratorios en función de las peticiones recibidas por parte de los usuarios. Todo esto nos permitirá reducir considerablemente el consumo de energía en la red entera.

### III. ARQUITECTURA PROPUESTA Y ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando implementamos prácticas remotas para los cursos de redes debemos asegurarnos que todos los usuarios registrados en los cursos tienen acceso a todos los equipos. Para ello, debemos tener una arquitectura física con suficientes equipos disponibles y preparados para ser usados. Sin embargo esto acarrea un consumo de energía considerable, debido al propio funcionamiento de *switches*, *routers* y sistemas de refrigeración. Por tanto, necesitamos un modo de controlar este consumo energético.

En esta sección se muestra una arquitectura mixta formada por una red de gestión *SDN* y los laboratorios desplegados para la realización de las prácticas remotas. La sección muestra la arquitectura desplegada y el algoritmo de funcionamiento que regulará el encendido y apagado de los laboratorios.

#### A. Conceptos teóricos básicos: Elastic tree.

Los *Elastic Tree* se definen como un controlador de la potencia a lo largo de la red, el cual ajusta dinámicamente el conjunto de todos los elementos activos de la red, refiriéndonos tanto a enlaces como switches, para satisfacer los cambios en la carga de tráfico de la red.

Los objetivos que persiguen los *Elastic Tree* es optimizar la energía a lo largo de la red que monitoriza las condiciones de tráfico del centro de datos de forma continua. En los *Elastic tree* se elige un conjunto de elementos de la red que deben estar activos para el correcto funcionamiento del sistema y la tolerancia a los fallos, por lo que apaga o ‘duerme’ los enlaces y switches que no son necesarios ante la carga de tráfico dada en ese instante. Los *elastic tree* se dividen básicamente en 3 módulos lógicos que podemos fácilmente identificar con nuestra arquitectura (Ver Figura 1).

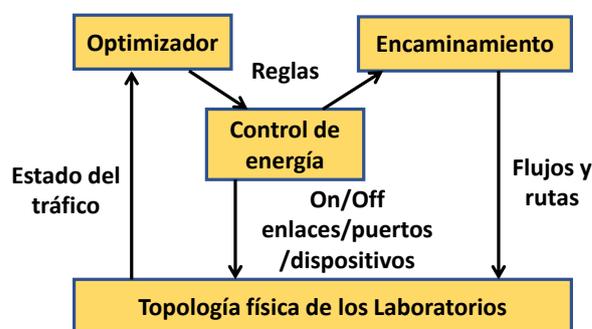


Fig. 1. Arquitectura Elastic tree aplicado a nuestra topología.

Aunque este tipo de sistemas suele aplicarse a escenarios típicos de data centers, nosotros deseamos aplicarlo a nuestra arquitectura y comprobar las mejoras en consumo de energía que su aplicación puede aportarnos. Los resultados demuestran que para las cargas producidas en centros de datos, *Elastic Tree* puede ahorrar hasta el 50% de la energía de la red, mientras que mantiene la capacidad de manejar las oleadas de tráfico.

#### B. Arquitectura y red SDN de gestión para el control de los laboratorios docentes.

El escenario que se propone para este trabajo es un laboratorio de redes en la modalidad de docencia virtual. Este laboratorio será accedido por parte de los alumnos, desde e.g. sus casas, para poder desarrollar diferentes prácticas de redes.

Tal como se muestra en la Figura 2, la red a la que los alumnos accederán a través de Internet está dividida en dos partes funcionales. Por un lado, una red *SDN* que será la encargada de gestionar la distribución de alumnos para el uso del equipamiento de las prácticas. Por otro lado, las redes de los laboratorios que contendrán los equipos que usarán los alumnos.

La red *SDN* de gestión está formada por un *frontend*, que actuará como elemento de entrada, y una red de distribución compuesta por una serie de *switches*

que encaminarán al alumno hacia los equipos que debe utilizar para su práctica.

La red para prácticas estará formada por bloques idénticos (en el ejemplo, compuestos de 6 *routers*, 6 PCs y los *switches* de interconexión necesarios). Todos tendrán una configuración inicial idéntica (mismas conexiones, direcciones IP, etcétera). Cada alumno conectado al sistema recibirá un bloque libre que utilizará en exclusiva para la realización de su práctica. En el ejemplo de la Figura 2, se ha supuesto que se dispone de 6 laboratorios con equipamiento para

prácticas, estando cada uno formado por 6 armarios que contienen 1 bloque cada uno. Desde un punto de vista energético, cada laboratorio dispone de un sistema de climatización que se encenderá cuando alguno de sus armarios esté en uso. Para la asignación de estos bloques, será la red *SDN* de gestión la que se encargue de asignar bloques a los alumnos de manera totalmente transparente. Todos los alumnos se conectarán de igual forma y verán la misma configuración de partida, independientemente del bloque asignado.

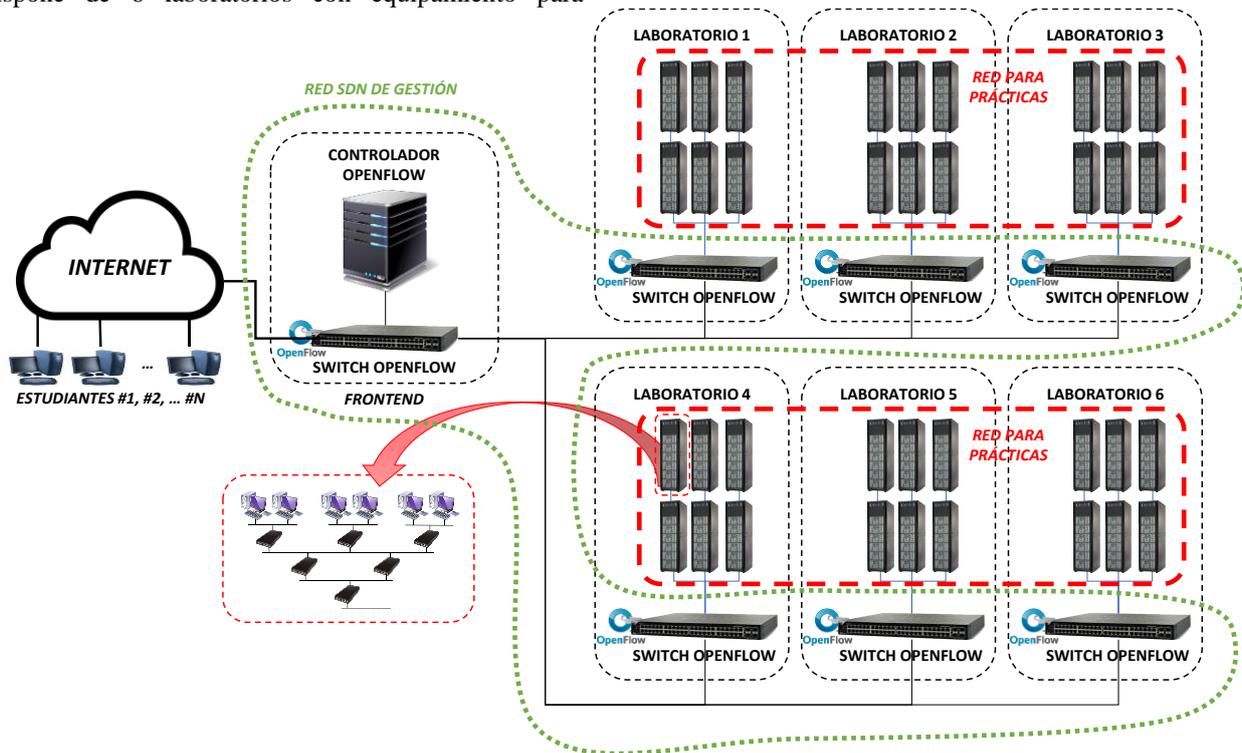


Fig. 2. Laboratorio de redes para docencia remota.

El primer elemento de la red de gestión será el *frontend*. Éste está formado por un *switch* con soporte de *OpenFlow* que está conectado a un controlador. Este controlador será el que implemente la inteligencia del sistema, modificando las reglas de flujos en los *switches* de la red de distribución. Para ello, cuando un nuevo usuario se conecta al sistema, el *switch OpenFlow* de entrada reenviará la petición al controlador, al tratarse de un flujo aún no incluido en su tabla de flujos. El controlador utilizará una tabla donde guardará qué equipos de los laboratorios están siendo utilizados, y le asignará uno de los bloques que aún no han sido utilizados. Para ello, el controlador modificará las tablas de flujos de los *switches* de la red de distribución, de manera que el nuevo flujo (identificado e.g. por la dirección IP del alumno) será encaminado de forma transparente a su bloque correspondiente. Una vez finalizada la práctica, el bloque volverá al pool de bloques que pueden utilizar alumnos nuevos.

De esta manera, el alumno sólo necesita conocer la dirección IP (o el nombre de dominio) del *frontend*.

### C. Algoritmo de control.

Para realizar el control de toda la arquitectura de manera correcta debemos tener en cuenta varios aspectos. El primero de ellos es que deseamos dar servicio a todos nuestros alumnos; el segundo objetivo es que deseamos reducir el consumo energético global, por último y como aplicación futura, podríamos hacer una subdivisión de armarios, por tipo de práctica.

La Figura 3 muestra el diagrama de funcionamiento de la red de gestión. Como podemos ver, el controlador está a la espera de peticiones de conexión. Cuando se realiza la petición por parte del alumno mediante el protocolo seguro *Secure Shell (SSH)*, el sistema analizará si este usuario está autorizado en el sistema o no. Tras esta comprobación, se le dará acceso un armario del laboratorio. Para ello, la red de gestión *SDN* comprueba si existe disponibilidad en el laboratorio actual y si no lo hay, el sistema deberá poner en marcha el siguiente laboratorio. El controlador periódicamente chequea si el usuario sigue activo o no, para liberar dicho armario. Finalmente la red de gestión

comprobará si siguen usuarios conectados a dicho laboratorio y si no es así, el laboratorio pasará a un estado *sleep*.

Cuando un laboratorio es puesto en marcha, también debe encenderse la refrigeración para mantener las condiciones ambientales idóneas para el correcto funcionamiento.

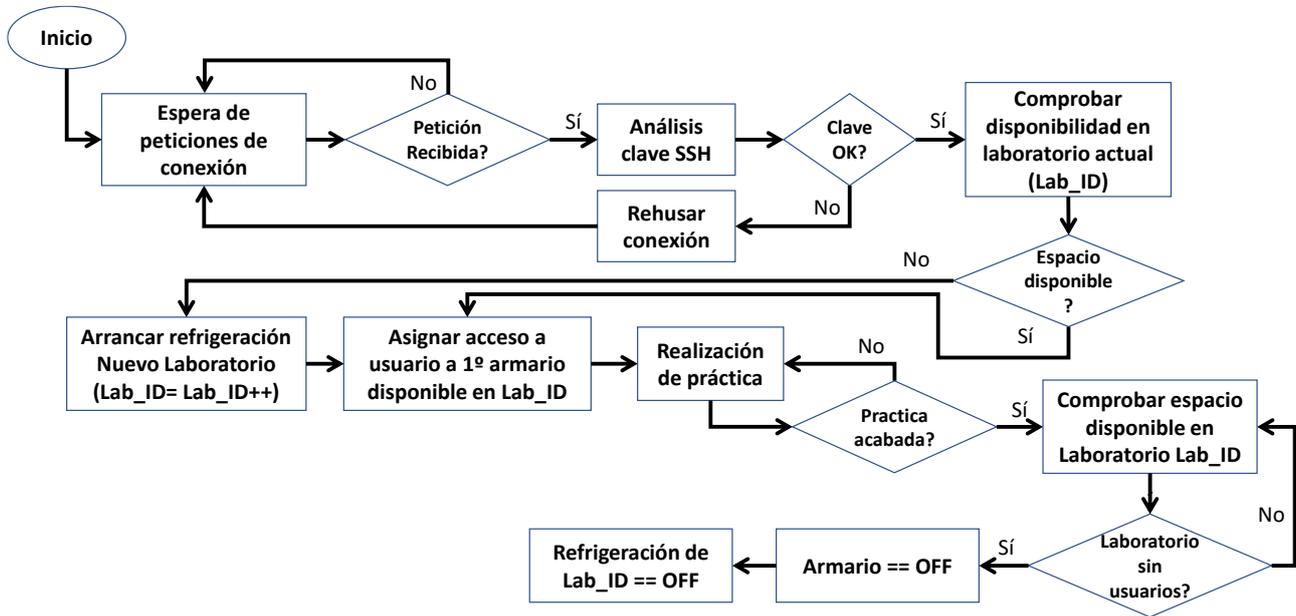


Fig. 3. Algoritmo de funcionamiento de la red de gestión SDN.

#### IV. RESULTADOS

Para comprobar la viabilidad de la propuesta, hemos implementado y programado el algoritmo explicado en la sección anterior, así como la implementación de los algoritmos de decisión de los *elastic tree*. Como herramienta de simulación hemos empleado Matlab. Esta sección muestra los resultados de simulación, cuando tenemos un laboratorio sin aplicar el balanceo de energía que los *elastic tree* y cuando es aplicado.

El escenario desarrollado se basa en el comportamiento del laboratorio durante una semana. Se considera que a este laboratorio pueden conectarse estudiantes en cualquier franja horaria, al azar y de manera aleatoria. Hemos tomado como referencia de consumos de energía de los dispositivos, los especificados por B. Heller et al. en [9]. En la simulación se muestran las mejoras introducidas gracias al uso de *Green Networking* en el escenario presentado (6 laboratorios, 6 armarios por laboratorio, un *switch* más por laboratorio, un refrigerador por laboratorio, y el *switch* del pasillo conectado al controlador).

Para su puesta en marcha se tienen en cuenta el número de módulos activos, entendiendo como módulo cada uno de los armarios del laboratorio. Dependiendo del número de módulos requeridos, se encienden más o menos *switches*, y cuando todos los módulos de un laboratorio están en funcionamiento, en caso de necesitar más módulos se pasa al siguiente laboratorio y

así sucesivamente. Si el laboratorio no está en uso no se enciende el módulo de refrigeración, y los *switches* se encuentran en *sleep mode*. El *switch* del pasillo siempre está en uso.

En total, consideramos 36 módulos. Consideraremos que se registra una carga baja cuando se está trabajando con 1 laboratorio, carga media cuando se trabaja con hasta 3 laboratorios y, por último, la carga muy alta considera el uso de todos los laboratorios.

La Figura 4 muestra el consumo energía de los laboratorios sin considerar el balanceo de energía. Podemos observar que el consumo para los 3 momentos del día se mantiene en todos los casos, entre los 40 y 50 kW, ya que en ningún caso, se contempla la posibilidad de que los dispositivos no utilizados sean desconectados.

La Figura 5 muestra el consumo energía de los laboratorios cuando se considera el balanceo de energía y se aplica nuestra propuesta. Lo primero que observamos es que los consumos de energía varían entre días y momentos del día. Esto se debe precisamente a que en este tipo de sistemas puede resultar complicado saber cuántas peticiones de conexión vas a tener por día. En cualquier caso, podemos ver el martes, presenta un consumo similar al registrado en la Figura 4, sin embargo, días como el domingo, el consumo de energía no supera en ningún caso los 30 kW.

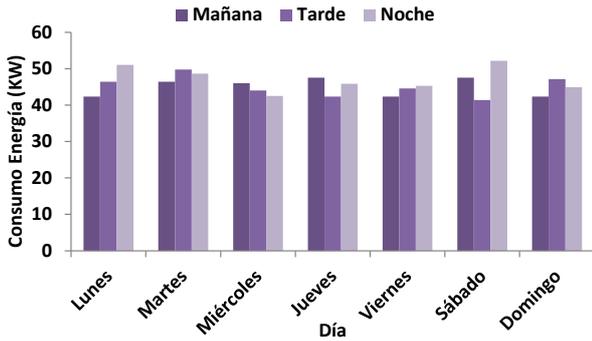


Fig. 4. Consumo energía de los laboratorios sin considerar el balanceo de energía.

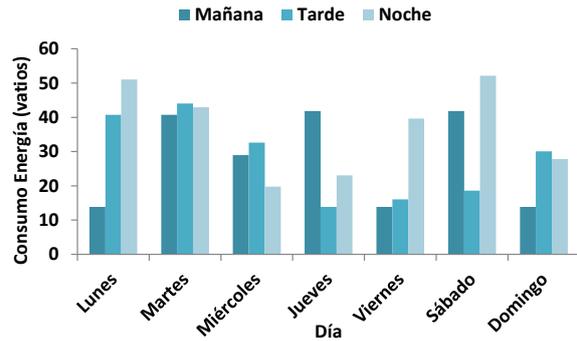


Fig. 5. Consumo energía de los laboratorios usando el balanceo de energía.

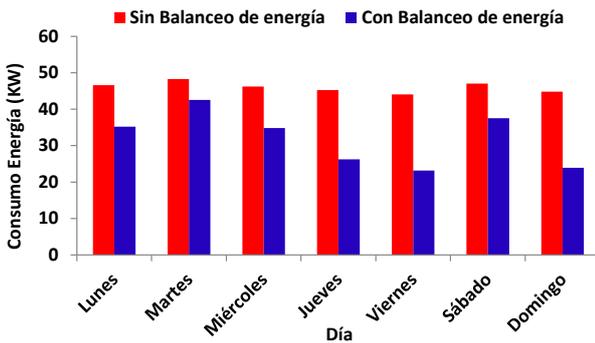


Fig. 6. Valor medio consumo energía por día para ambos casos.

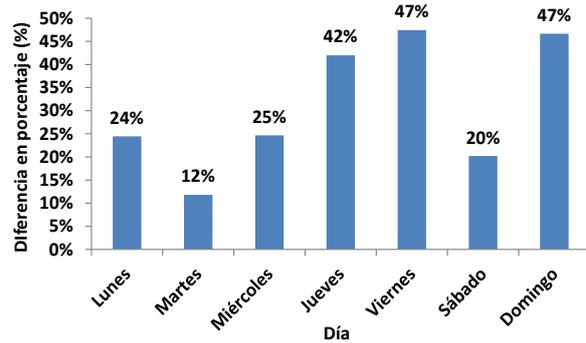


Fig. 7. Porcentaje de ahorro de energía medio por día.

Para comparar la energía consumida diariamente, calculamos una estimación del consumo medio por día. La Figura 6 muestra los resultados obtenidos. En este caso, se ve claramente que mientras que cuando no se aplica nuestra propuesta, el consumo medio diario se sitúa en torno a los 46 kW, cuando aplicamos el balanceo de energía mediante nuestra propuesta, obtenemos valores medios comprendidos entre los 23 kW y los 42 kW.

Por último, en la Figura 7 calculamos el ahorro de energía que implicaría tener implementada nuestra propuesta. Vemos que podemos conseguir ahorros de un 47% en el consumo de energía. En una semana se observa un 31% de ahorro de energía. Este hecho implica un considerable ahorro económico y una reducción importante en la huella de carbono que emitimos en la producción de dicha energía eléctrica.

## V. CONCLUSIONES

Con el paso de los años y el aumento del número de dispositivos de red, cada vez más se está demandando personal altamente cualificado en temas de gestión de redes. Por ello, con mayor frecuencia, estamos recibiendo peticiones de cursos a distancia y que ofrezcan la posibilidad de practicar con equipos reales sin restricciones horarias. Sin embargo, tener una serie de laboratorios disponibles 24h implica un elevado consumo de energía y por ello creemos necesaria la mejora de este hecho.

Por ello, en este artículo hemos propuesto la implementación de un laboratorio docente que permita

el acceso desde internet para la realización de prácticas reales a distancia. Además este laboratorio está gestionado por una red SDN basada en OpenFlow que gestiona las peticiones de conexión por parte de los alumnos y los redirige a los laboratorios disponibles, de una manera eficiente. Esta eficiencia viene dada por aprovechar los armarios y equipos disponibles hasta completar un laboratorio completo y mantener apagados aquellos que no sea necesario utilizar.

Para comprobar la viabilidad de nuestra propuesta hemos simulado el funcionamiento de una arquitectura formada por 6 laboratorios con 6 armarios, que reciben peticiones por parte de usuarios de manera aleatoria. La idea básica del algoritmo propuesto se basa en los *elastic tree*, una técnica muy empleada en la gestión energéticamente eficiente de los data center, activando y desactivando enlaces.

Como resultado hemos podido observar mejoras en el consumo energético de hasta el 47%. Dicho valor depende en gran medida del número de usuarios conectados, que requieran su utilización.

Como líneas futuras, deseamos implementar laboratorios específicos clasificados según el tipo de prácticas, ya que, en cursos como los impartidos por Cisco Networking Academy, diferencian entre prácticas básicas, prácticas de encaminamiento, prácticas de conmutación y prácticas de seguridad. Además, nos gustaría medir el consumo real de energía de los dispositivos empleados para virtualizar los diferentes equipos [17] y ejecutar OpenFlow.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por el “Ministerio de Ciencia y Tecnología”, a través de la a través de la convocatoria 2014. Proyectos I+D - Programa Estatal de Investigación Científica y Técnica de Excelencia, a través del "Proyecto Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento" (TIN2014-57991-C3-1-P) y por el "Ministerio de Economía y Competitividad" a través de la convocatoria 2016. Proyectos I+D+I - Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e innovación orientada a los retos de la sociedad, (TEC2016-76795-C6-4-R).

## REFERENCIAS

- [1] G. Koutitas, and P. Demestichas, "A review of energy efficiency in telecommunication networks", *Telfor journal*, 2010. Vol. 2, No.1, pp. 2-7.
- [2] Infoplease, "World Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions, 1990–2025". Available at: <https://www.infoplease.com/science-health/energy/world-energy-consumption-and-carbon-dioxide-emissions-1990-2025>. [Last access: May 12, 2017]
- [3] R. Azizi. "Consumption of Energy and Routing Protocols in Wireless Sensor Network". *Network Protocols Algorithms*, 2016, Vol 8, No 2, pp76-87.
- [4] M. Su-Qin, G. Yu-Cui, L. Min, Y. Yu, C. Ming-Zhi, "A Cluster Head Selection Framework in Wireless Sensor Networks Considering Trust and Residual Energy", *Ad Hoc and Sensor Wireless Networks*, 2015, Vol. 25, Num. 1-2, pp. 147-164.
- [5] M. Fereydooni, M. Sabaei and G. Babazadeh, "Energy Efficient Topology Control in Wireless Sensor Networks with Considering Interference and Traffic Load", *Ad Hoc and Sensor Wireless Networks*, 2015, Vol. 25, Num. 3-4, pp. 289-308.
- [6] S. Andrade-Morelli, E. Ruiz-Sánchez, S. Sendra, J. Lloret, "Router Power Consumption Analysis: Towards Green Communications", *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 2012, Vol. 113, No.-, pp 28-37
- [7] S. Sendra, J. M. Jiménez, L. Parra, J. Lloret, "Blended Learning in a Postgraduate ICT course", en las actas del 1st International Conference on Higher Education Advances, HEAd'15. 24-26 de Junio de 2015, Valencia (España)
- [8] J. Lloret, J.M. Jimenez, J. R. Diaz, G. Lloret. "A Remote Network Laboratory to Improve University Classes". *The 5th WSEAS/IASME International Conference on engineering education (EE'08)*, Heraklion, Creta. (Grecia), 22 - 24 July, 2008.
- [9] B. Heller, S. Seetharaman, P. Mahadevan, Y. Yiakoumis, P. Sharma, S. Banerjee, N. McKeown. "ElasticTree: Saving Energy in Data Center Networks". En las actas del 7th USENIX conference on Networked systems design and implementation (NSDI 2010), 28 – 30 de abril de 2010, San Jose, (California – EEUU).
- [10] F. Sánchez Carracedo, D. López Álvarez, J. García Almiñana. "El desarrollo de la competencia Sostenibilidad y Compromiso Social en la Facultat d'Informàtica de Barcelona". En las Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Universidade de Santiago de Compostela. Escola Técnica Superior d'Enxeñaría. 2010. 7 de julio de 2010, Santiago de Compostela (España). Pp. 249-256.
- [11] I. Santana, M. Ferre, E. Izaguirre, R. Aracil, L. Hernandez, "Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems," en *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 547-556.
- [12] J. Sáenz, J. Chacón, L. De La Torre, A. Visioli, S. Dormido, "Open and Low-Cost Virtual and Remote Labs on Control Engineering", *IEEE Access*, 2015, vol.3, No.3, Pp. 805-814
- [13] S. Sendra Compte, J. Lloret, M García Pineda, J. F. Toledo Alarcón, Power saving and energy optimization techniques for Wireless Sensor Networks", *Journal of Communications*. 2010, Vol. 6, No. 6, pp. 439-459.
- [14] M. Garcia, S. Sendra, J. Lloret, R. Lacuesta. "Saving energy with cooperative group-based wireless sensor networks". En *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*. CDVE 2010. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 6240, pp. 73-76. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [15] H. Wang, Y. Li, D. Jin, P. Hui, and J. Wu, "Saving energy in partially deployed software defined networks". En *IEEE Transactions on Computers*, 2016, vol. 65, No. 5, pp.1578-1592.
- [16] J. M. Jimenez, O. Romero, A. Rego, A. Dilendra, J. Lloret, "Study of multimedia delivery over software defined networks". *Network Protocols and Algorithms*, 2016, 7(4), pp. 37-62.
- [17] D. Sarabia-Jácome, A. Rego, S. Sendra, J. Lloret, "Energy Consumption in Software Defined Networks to Provide Service for Mobile Users", en las actas del 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 26-30 de Junio de 2017, Valencia (España).
- [18] B. B. Rodrigues, A. C. Riekstin, G. C. Januário, V. T. Nascimento, T. C. M. B. Carvalho, C. Meirosu, "GreenSDN: Bringing energy efficiency to an SDN emulation environment," En las actas de 2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM2015), 11-15 de Mayo de 2015, Ottawa (Ontario), 2015, (pp. 948-953).