

Evolución de la docencia a distancia de redes en un postgrado oficial de la UNED

A. C. Caminero, A. Robles-Gómez, Ll. Tobarra, S. Ros, R. Hernández

Dpto. de Sistemas de Comunicación y Control. ETSI Informática. UNED
{accaminero, arobles, llanos, sros, roberto}@scc.uned.es

Resumen Las redes de computadores se han erigido en un elemento fundamental de las infraestructuras tecnológicas de cualquier institución, tanto empresas privadas como instituciones públicas. Por tanto, la enseñanza de los protocolos que hacen posible su funcionamiento es un aspecto fundamental dentro de las titulaciones de informática. En este trabajo se va a resumir la evolución que ha tenido la docencia de redes de computadores centrándonos en una asignatura de un postgrado oficial de la UNED. Estas evoluciones se han realizado para adaptar la asignatura al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), así como para aprovechar las nuevas tecnologías de *cloud computing*.

Key words: Docencia, redes de computadores, evolución, Espacio Europeo de Educación Superior, cloud computing

1. Introducción

Las redes de computadores son un elemento primordial dentro de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), y como tal, son desde hace años objeto de estudio en las diversas titulaciones de Informática. Dentro de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI) en Informática de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), la docencia de redes ha experimentado una evolución para adaptarse y para aprovechar las diferentes tecnologías y metodologías que han ido surgiendo a lo largo de los años. Además, la naturaliza a distancia y online de nuestra Universidad añade un esfuerzo adicional a la realización de nuestra labor docente.

En este trabajo se va a explicar la forma en que la docencia de redes se ha realizado en nuestra Universidad, centrándonos en una asignatura de un postgrado oficial de nuestra escuela. Se verán las distintas evoluciones que dicha asignatura ha sufrido a lo largo de los años para adaptarse a los cambios que han acaecido en la docencia universitaria así como a las nuevas tecnologías que han aparecido y madurado durante el tiempo de vida de esta asignatura. Las dos evoluciones más importantes de que ha sido objeto esta asignatura han sido en primer lugar su adaptación a los nuevos planes de estudio del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y en segundo lugar su adaptación para el aprovechamiento de las tecnologías de *cloud computing*.

La estructura de este documento es como sigue. En la sección 2 se presenta la asignatura sobre la que se centra este trabajo. En la sección 3 se detalla la evolución que se realizó sobre esta asignatura para adaptarla a los planes educativos del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Posteriormente, en la sección 4 se explica la

forma en que la asignatura aprovecha las tecnologías de cloud computing. Finalmente, la sección 5 concluye este trabajo.

2. geStiÓN y administraciÓN de los serviCIos de red en los sistemas OperativoS (SOCIOS)

Esta sección describe la asignatura *geStiÓN y administraciÓN de los serviCIos de red en los sistemas OperativoS* (abreviada como *SOCIOS*), incluyendo sus objetivos de aprendizaje, contenidos, organización y el programa al que pertenece. Es una asignatura que lleva en funcionamiento desde el curso 2007-2008, y que ha ido evolucionando a lo largo de estos años, como se va a explicar en este trabajo.

2.1. Contexto

La asignatura *SOCIOS* pertenece al Máster en Comunicaciones, Redes y Gestión de Contenidos del Dpto. de Sistemas de Comunicación y Control de la ETSI Informática de la UNED. Se trata de un máster de postgrado oficial de la UNED. La asignatura consta de 10 créditos del *European Credit Transfer System* (ECTS), donde cada crédito ECTS equivale a 25 horas de trabajo del estudiante. Para completar este postgrado, los estudiantes deben conseguir 60 créditos ECTS, distribuidos de la siguiente forma:

- 30 créditos ECTS se corresponden con las tres asignaturas principales del máster.
- 20 créditos ECTS se corresponden con dos asignaturas optativas, lo que permite a los estudiantes elegir el área de especialización que mejor se ajuste a su perfil y a sus intereses.
- 10 créditos ECTS se corresponden con el Trabajo Final de Máster (TFM).

Para seguir este programa de postgrado, son necesarios como requisitos previos conocimientos básicos del currículo de Tecnologías de la Información, incluyendo administración de sistemas, fundamentos de programación, redes de computadores, tecnologías web, así como de seguridad de la información.

La asignatura *SOCIOS* es una de las asignaturas principales del máster, por lo que pertenece a la primera de las categorías mencionadas arriba. Esta asignatura está basada en las recomendaciones de currículo de ACM (ACM Curricula Recommendations) [1] para el currículo de Tecnologías de la Información. Desde el comienzo de esta asignatura, se matriculan de media en torno a 50 estudiantes cada año.

2.2. Objetivos de aprendizaje y contenidos de SOCIOS

La asignatura *SOCIOS* proporciona a los estudiantes que la cursan los conocimientos necesarios para gestionar los servicios de la red local de una empresa, que son habilidades esenciales para los profesionales de las TICs. Los principales objetivos de aprendizaje que se consiguen con esta asignatura son los siguientes:

1. Proporcionar una visión práctica de los servicios y protocolos de red, administración de servidores y seguridad.

2. Aplicar conceptos generales a sistemas operativos reales:
 - Linux, que es gratuito y muy popular por su robustez.
 - Windows Server, un sistema operativo comercial.

Con el fin de alcanzar estos objetivos de aprendizaje, se han preparado una serie de contenidos para esta asignatura. Dichos contenidos se centran en el desarrollo de trabajos prácticos de diseño y configuración de los protocolos de red más utilizados para los sistemas operativos arriba mencionados. Estos contenidos se encuentran organizados en cinco temas agrupados en dos unidades, tal como se muestra a continuación:

- Unidad 1: Gestión de los servicios de red con Windows Server.
 - Tema 1: Introducción a la gestión de Windows Server.
 - Tema 2: Gestión de Active Directory. Se presentan la arquitectura y los componentes básicos para la gestión de Active Directory.
 - Tema 3: Gestión de la red con Windows Server. Se ven los principales servicios de red.
- Unidad 2: Gestión de los servicios de red con Linux.
 - Tema 4: Introducción a la gestión de Linux.
 - Tema 5: Gestión de la red con Linux. Se ven los principales servicios de red.

Para el estudio de estos temas, el equipo docente propuso originalmente para esta asignatura dos trabajos prácticos, uno para la parte de Windows Server y otro para la parte de Linux, además de un examen final. Esta aproximación tenía el inconveniente principal de que era difícil para los docentes seguir el progreso de los estudiantes en la asignatura debido a su metodología a distancia.

A continuación se detallarán las evoluciones que la asignatura ha sufrido primero para adaptarla al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y luego para aprovechar las tecnologías de *cloud computing*.

3. Primera evolución: Adaptación al EEES

Lo primero que el equipo docente de la asignatura hizo para llevar a cabo una adaptación de la asignatura al EEES, fue definir un conjunto de prácticas de evaluación suficiente que serían entregadas semanalmente a lo largo del cuatrimestre de impartición de la asignatura. En concreto, los estudiantes realizan una serie de 6 actividades prácticas tanto para la unidad centrada en Windows como para la centrada en Linux. De esta forma, se puede comprobar el correcto progreso de los estudiantes.

En total, los estudiantes tienen que realizar 12 ejercicios prácticos consistentes en configurar clientes y servidores de algunos de los servicios de red más importantes para los sistemas operativos Windows Server y Linux, como por ejemplo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), DNS (Domain Name System), WINS (Windows Internet Naming Service), Active Directory, FTP (File Transfer Protocol), e-mail, u OpenLDAP (Open Lightweight Directory Access Protocol), así como a compartir carpetas entre máquinas Windows y Linux con Samba.

En este sentido, se evalúa a los estudiantes en base a las actividades propuestas y a la realización de un examen final. Los requisitos mínimos para aprobar la asignatura se atienen a uno de los siguientes criterios:

- Entrega de las 11 primeras actividades, y obtención de al menos 50 puntos en las mismas.
- Entrega de 10 de las 11 primeras actividades, realización del examen como sustituto de la práctica no entregada, y obtención de al menos 50 puntos en las mismas.

Tanto la actividad 12 como la participación en los foros es opcional, pero cuenta para la nota final. Para una información más detallada sobre la primera evolución de la asignatura se puede consultar la referencia [2].

Como se ha comentado brevemente, la participación de los estudiantes en los foros cuenta para la calificación final, en concreto, un 10 % de la calificación final. Por tanto, se ha fomentado la participación activa en los mismos, entre los estudiantes y el equipo docente. Entre todos los usuarios (estudiantes y profesores) se suelen alcanzar los 40 mensajes de foro al día, por lo que la dinamicidad de los foros es alta con el fin de simular una clase presencial lo mejor posible.

Finalmente, también se proporcionó a los estudiantes un sistema de evaluación automático de las actividades prácticas relacionadas con las prácticas de Linux. Es un software que el estudiante puede ejecutar sobre su entorno de trabajo para recibir retroalimentación sobre sus desarrollos. Este software les indica entre otros, errores de configuración así como avisos sobre posibles errores. Brevemente, el software autoevaluador revisa los *scripts* necesarios para la realización de cada una de las actividades relacionadas con los servicios de red. Este hecho ha mejorado la opinión de los estudiantes, recibiendo en las encuestas de satisfacción una de las puntuaciones más altas.

Cabe destacar que los docentes de la asignatura han estudiado la satisfacción de los usuarios con respecto a la asignatura y la enseñanza a distancia proporcionada [2] [3] [4] con resultados satisfactorios.

En el siguiente apartado este trabajo se centrará en el aprovechamiento eficiente de las tecnologías de virtualización y de cloud computing como segunda evolución de la asignatura, y así modernizarse con tecnologías adicionales y actuales.

4. Segunda evolución: Aprovechamiento del cloud computing

Las tecnologías de virtualización y de cloud computing permiten la creación dinámica y bajo demanda de entornos de trabajo virtuales en una gran variedad de campos tanto de investigación como comerciales. Estas tecnologías proporcionan una gran cantidad de beneficios, algunos de los más representativos son [5] [6] [7] que el personal técnico aprovecha de forma más efectiva y eficiente su tiempo y sus recursos, se proporciona tolerancia a fallos mejorada (lo que también afecta positivamente a la disponibilidad de las aplicaciones), se reduce el consumo de potencia de los equipos informáticos, y que se puede añadir o eliminar máquinas bajo demanda para adaptar el entorno de trabajo a las necesidades de forma dinámica.

En nuestra Universidad, que implementa una metodología de enseñanza a distancia, el uso de laboratorios virtuales y remotos es esencial para la adquisición de competencias prácticas, debido a que no existen interacciones físicas entre los estudiantes y los profesores. De esta forma, utilizando estos laboratorios, los estudiantes obtienen la experiencia práctica que supondrá una de sus bazas más importantes durante su carrera profesional.

Por estas razones, nuestra Universidad ha desarrollado un sistema para gestionar laboratorios virtuales y remotos llamado TUTORES (*virTUAL remoTe labORatories managEment System*) [8]. Este sistema está basado en tecnologías de virtualización y cloud computing con el fin de proporcionar dinámicamente a los estudiantes el entorno de trabajo necesario para que puedan adquirir destrezas prácticas en cualquier asignatura de ingeniería. TUTORES ha sido utilizado para mejorar la docencia práctica de la asignatura SOCIOS.

Los profesores pueden utilizar este sistema para crear laboratorios virtuales y remotos (*Virtual Remote Laboratories, VRLab*) [8] basados en plantillas, donde cada laboratorio puede estar formado por una o más máquinas virtuales (*Virtual Machines, VM*), dependiendo de las competencias que los estudiantes deben adquirir mediante la utilización de este laboratorio – podemos crear laboratorios para realizar ejercicios prácticos de cualquier asignatura de ingeniería informática. Además, los profesores también pueden acceder a los VRLabs de sus estudiantes para comprobar su progreso y proporcionarles ayuda práctica. Por otro lado, los estudiantes pueden conectarse a sus VRLabs en cualquier momento y desde cualquier lugar, tan solo necesitan un ordenador medio con conexión a Internet.

Los beneficios de la utilización del sistema TUTORES afectan tanto a profesores como a estudiantes, ya que les permite aprovechar mejor su tiempo, así como interactuar más fácil y eficazmente para solventar dudas de los ejercicios prácticos.

Este sistema se ha probado en la asignatura de interés en este trabajo, la asignatura SOCIOS, con resultados prometedores. Seguidamente vamos a describir brevemente el sistema TUTORES para después pasar a explicar los VRLabs que hemos usado para dicha asignatura.

4.1. Tecnologías usadas en TUTORES

TUTORES es el sistema que se encarga de asistir a los profesores a la hora de gestionar VRLabs. Está implementado en base a dos tecnologías clave, que son el hipervisor de máquinas virtuales VMWare ESXi [9] y el sistema gestor de infraestructuras virtuales OpenNebula [10]. VMWare ESXi es el software encargado de proporcionar el entorno de ejecución para las máquinas virtuales que formarán nuestros laboratorios. Este hipervisor ha sido elegido ya que es uno de los más ampliamente utilizados a nivel mundial, y nuestra Universidad tiene experiencia trabajando con él.

Por otro lado, OpenNebula realiza las tareas de registro, monitorización, despliegue, migración, etc. de los laboratorios y de las plantillas de máquinas virtuales que se pueden usar para crear los laboratorios. Para realizar estas tareas existen diversas alternativas de software, como por ejemplo Eucalyptus [11], sin embargo, hemos utilizado OpenNebula debido a su naturaleza open-source y a su habilidad para trabajar con diferentes tecnologías de virtualización (como por ejemplo las de VMWare, KVM, o Xen) así como con proveedores de servicios cloud públicos para crear sistemas híbridos. Con el fin de facilitar el uso de TUTORES, este sistema presenta una interfaz web que evita que los docentes tengan que conocer los comandos de OpenNebula o de ESXi para gestionar los VRLabs.

4.2. Utilizando TUTORES

El sistema TUTORES ha sido utilizado para crear VRLabs para la asignatura SOCIOS. Estos laboratorios se han utilizado para la realización por parte de los estudiantes de los ejercicios prácticos explicados en la sección 2. De esta forma, los estudiantes pueden conectarse remotamente desde cualquier lugar a sus VRLabs, lo que les permite obtener las ventajas mencionadas anteriormente.

Cuando los profesores desean utilizar TUTORES para crear VRLabs para la asignatura SOCIOS, tienen que seguir los siguientes pasos, para cuya realización se han desarrollado scripts. En primer lugar, es necesario crear switches virtuales en el servidor VMWare ESXi. Seguidamente deben crear redes y usuarios en OpenNebula. Tras esto, deben crear VMs operativas en el servidor ESXi, y registrarlas en OpenNebula. El siguiente paso consiste en el despliegue de los VRLabs, indicando las VMs que serán utilizadas como plantillas para ellos. Una vez hayan sido desplegados, los VRLabs están listos para ser utilizados. Finalmente, una vez que los VRLabs ya han sido utilizados por los estudiantes y no son necesarios, habría que apagar y eliminar las VMs y con ellos los VRLabs. A continuación, veremos algunos de los scripts desarrollados.

4.3. Scripts implementados para TUTORES

En esta sección presentamos algunos de los scripts que implementan los pasos mencionados anteriormente – no podemos incluirlos todos por problemas de espacio.

En primer lugar, la Figura 1 muestra el script que implementa el paso consistente en la creación en el servidor ESXi de switches virtuales, tantos como indique un parámetro de entrada. Este script utiliza el interfaz de línea de comandos de ESXi.

Para el paso consistente en la creación de redes en OpenNebula, se toman como parámetros de entrada ficheros en formato *Comma Separated Value* (CSV) con las configuraciones de redes necesarias. La estructura de este fichero es $\{bridge, dirección\ IP\ de\ la\ red, máscara, gateway, DNS\}$, donde *bridge* se refiere al switch virtual creado en el servidor ESXi que se utilizará para este VRLab, y el resto de parámetros configuran diferentes aspectos de la red de cada VRLab. Una vez que este fichero ha sido procesado, se ejecuta el script que se muestra en la Figura 2, que a su vez crea las redes emitiendo los comandos para la creación de redes de OpenNebula.

Para el paso consistente en el despliegue de los VRLabs, se ha desarrollado el script que se muestra en la Figura 3. Este script se ejecuta para cada VM de cada VRLab, teniendo en cuenta que cada VRLab está preparado para realizar un ejercicio práctico concreto y que pertenece a un usuario concreto. A su vez, cada usuario pertenece a un grupo de usuarios. Por ejemplo, si los estudiantes Pepe y José pertenecen al grupo 1 y van a realizar el ejercicio 3, que requiere un VRLab con 2 VMs, en este caso este script se ejecutará un total de 4 veces.

4.4. Descripción de los VRLabs usados en la asignatura SOCIOS

Una vez se han realizado los pasos anteriores, tendremos los VRLabs listos para ser utilizados. La Figura 4 (a) muestra un diagrama que representa la estructura de la red de

```

#!/bin/bash
COMANDOL="/usr/sbin/esxcfg-vswitch -l"
COMANDOA="/usr/sbin/esxcfg-vswitch -a"
COMANDOVSA="/usr/sbin/esxcfg-vswitch -A"
i=1
while [ $i -le $1 ]; do
    vswitch=vSw$i
    net=VSred$i
    EXISTE=`$COMANDOL | grep $net | sed 's/ /:/g' | cut -f3 -d:`
    if ! [ "$EXISTE" = $net ]
    then
        echo "Creando switch virtual" $vswitch
        $COMANDOA $vswitch
        echo "Creando portgroup " $net
        $COMANDOVSA $net $vswitch
    fi
    i=`expr $i + 1`
done

```

Figura 1. Script para la creación de switches virtuales en el servidor ESXi.

los VRLabs utilizados en la asignatura. En ella se pueden ver dos VRLabs (denominados VRLab_0 y VRLab_1). Cada VRLab está formado por una red virtual, que a su vez está compuesta por tres componentes: un switch virtual y dos máquinas virtuales. De las dos máquinas virtuales, una de ellas ejerce las funciones de servidor de nuestra red local y la otra ejerce las funciones de cliente. La primera de ellas será configurada por los estudiantes para implementar algunos de los servicios de red más utilizados, como son DHCP, FTP, DNS, WWW, OpenLDAP o e-mail (tal y como se ha explicado en la sección 3). La segunda de ellas será también utilizada por los estudiantes para actuar como cliente de dichos servicios y comprobar su correcto funcionamiento.

A su vez, la máquina virtual servidor también está conectada a otra red local llamada LAN_CONTROL. En esta red local se encuentra también conectado el servidor de autoevaluación (explicado en la sección 3), así como un repositorio local de Linux para minimizar el tráfico por la red de la Universidad cuando los estudiantes descarguen paquetes para instalarlos en las máquinas de sus VRLabs.

La Figura 4 (b) muestra el diagrama de la red en el hipervisor ESXi. En la parte superior aparece un VRLab con el switch virtual VSwitch11 y las máquinas virtuales one-99 y one-100. En la parte inferior se muestra la red de control, formada por el switch virtual VSwitch3 y las máquinas virtuales labman, one-99, y ACHRepositorioUbuntu10.04.

```

#!/bin/bash
SU=/bin/su
HOME=/home/$1
USER=$1
TEMPLATE=$2
ONEVNET=/srv/cloud/one/bin/onevnet
export ONE_LOCATION=/srv/cloud/one
export ONE_XMLRPC=http://localhost:2633/RPC2
export ONE_PATH=$ONE_LOCATION/bin:$PATH
export ONE_AUTH=/srv/cloud/one/.one/one_auth
EXISTONE=`/srv/cloud/one/bin/oneuser list | grep -w $USER
| tr -s ' ' : | cut -f3 -d:`
export ONE_AUTH=$HOME/.one/one_auth
if [ "$EXISTONE" = $USER ]
then
    $SU -c "$ONEVNET create $TEMPLATE" $USER
fi

```

Figura 2. Script para la creación de una red.

5. Conclusiones

Las redes de computadores son un elemento principal de cualquier infraestructura tecnológica, por lo que su enseñanza debe ser prioritaria en las titulaciones de informática. En la UNED, debido a la metodología online y a distancia que caracteriza nuestros estudios, debemos hacer uso de herramientas que permitan a nuestros estudiantes adquirir las competencias necesarias para sus futuras carreras profesionales. En este trabajo hemos resumido la evolución que la docencia de redes de computadores ha seguido en una asignatura de postgrado oficial de nuestra Universidad. Esta asignatura, llamada *geStión y administraciÓn de los serviCIos de red en los sistemas OperativoS (SOCIOS)*, ha sido objeto de dos evoluciones, primero para adaptarse al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), y posteriormente para aprovechar las tecnologías de cloud computing. En este trabajo hemos explicado ambas evoluciones, así como los desarrollos realizados para implementarlas.

Como trabajo futuro, estamos planteando una nueva evolución en la asignatura donde el conocimiento de los sistemas cloud se convertirá en objetivo de aprendizaje.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo de los siguientes proyectos: MUREE de la Unión Europea (530332-TEMPUS-1-2012-1-JO-TEMPUS-JPCR), el proyecto de la UNED 2014-027-UNED-PROY, el proyecto del Banco Santander y la UNED 2014I/PPRO/031, y la red E-Madrid de la Comunidad de Madrid (S2013-ICE2715).


```

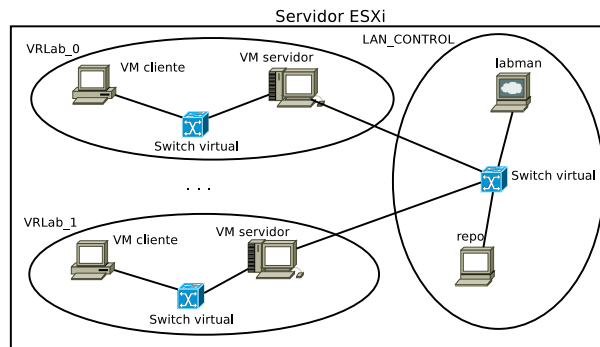
#!/bin/bash
SU=/bin/su
HOME=/home/$1
USER=$1
PASSWORD=$2
NODE=$3
TEMPLATE=$4
ONEVM=/srv/cloud/one/bin/onevm
export ONE_LOCATION=/srv/cloud/one
export ONE_XMLRPC=http://localhost:2633/RPC2
export ONE_PATH=$ONE_LOCATION/bin:$PATH
export ONE_AUTH=/srv/cloud/one/.one/one_auth
EXISTONE=`/srv/cloud/one/bin/oneuser list | grep -w $USER \\\
| tr -s ' ' : | cut -f3 -d:`
export ONE_AUTH=$HOME/.one/one_auth
if [ "$EXISTONE" = $USER ]
then
    $SU -c "$ONEVM create $TEMPLATE" $USER
    USU=`echo $USER | cut -c1-8`
    IDVM=`/srv/cloud/one/bin/onevm list | grep -w $USU \\\
| grep -w "pend" | tr -s ' ' : |
    cut -f2 -d: | sort | tail -1`
    $SU -c "$ONEVM deploy $IDVM $NODE" $USER
fi

```

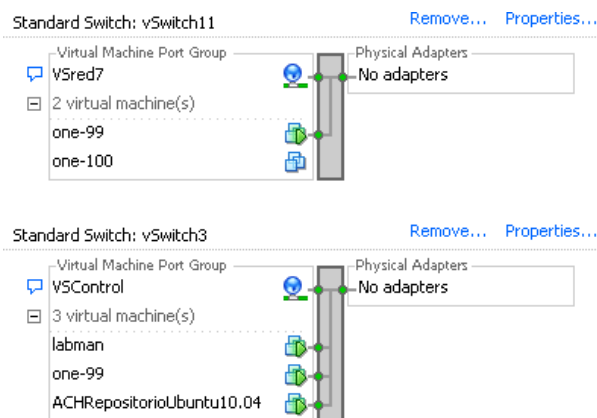
Figura 3. Script para el despliegue de una VM.

Referencias

1. Association for Computing Machinery (ACM): ACM curricula recommendations. Disponible en <http://www.acm.org/education/curricula-recommendations> (Fecha de acceso: 20 de noviembre de 2015)
2. Ros, S., Robles-Gómez, A., Hernández, R., Caminero, A.C., Pastor, R.: Using virtualization and automatic evaluation: Adapting network services management courses to the EHEA. *IEEE Transactions on Education* **55**(2) (2012) 196–202
3. Tobarra, L., Robles-Gómez, A., Ros, S., Hernández, R., Caminero, A.C.: Analyzing the students' behavior and relevant topics in virtual learning communities. *Computers in Human Behavior* **31** (2014) 659 – 669
4. Robles-Gómez, A., Ros, S., Hernández, R., L., T., Caminero, A.C., Agudo, J.M.: User acceptance of a proposed self-evaluation and continuous assessment system. *Educational Technology & Society* **18**(2) (2015) 97–109
5. Bora, U.J., Ahmed, M.: E-learning using cloud computing. *Intl. Journal of Science and Modern Engineering (IJISME)* **1**(2) (2013) 9–13
6. IBM Corporation: Cloud computing saves time, money and shortens production cycle. Disponible en <http://www-935.ibm.com/services/in/cio/pdf/dic03001usen.pdf> (Fecha de acceso: 20 de noviembre de 2015)



(a) Diagrama de la red.



(b) Vista de la red en el hipervisor ESXi.

Figura 4. VRLabs utilizados en la asignatura SOCIOS [8].

7. Selviandro, N., Hasibuan, Z.: Cloud-based e-learning: A proposed model and benefits by using e-learning based on cloud computing for educational institution. In: Information and Communication Technology. Volume 7804 of Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg (2013)
8. Caminero, A.C., Ros, S., Hernández, R., Robles-Gómez, A., Tobarra, L., Tolbanos, P.J.: VirTUAL remoTe labORatories managEmEnt System (TUTORES): Using cloud computing to acquire university practical skills. IEEE Transactions on Learning Technologies (TLT), in press, accepted for publication in July, 2015
9. VMWare ESXi hypervisor. Disponible en <http://www.vmware.com/products/vsphere-hypervisor> (Fecha de acceso: 20 de noviembre de 2015)
10. Moreno-Vozmediano, R., Montero, R.S., Llorente, I.M.: IaaS cloud architecture: From virtualized datacenters to federated cloud infrastructures. IEEE Computer **45**(5) (2012) 65–72
11. Nurmi, D., Wolski, R., Grzegorzczak, C., Obertelli, G., Soman, S., Youseff, L., Zagorodnov, D.: The Eucalyptus Open-Source Cloud-Computing System. In: Proc. 9th IEEE/ACM Int. Symp. on Cluster Computing and the Grid (CCGrid), Shangay, China (2009)