

## Aplicación del enfoque descendente para la enseñanza de Redes de Computadoras, un estudio comparativo

Nelson Rodríguez<sup>1</sup>, Daniel Arias Figueroa<sup>2</sup>, María Murazzo<sup>1</sup>, Jorge Mercado<sup>1</sup>, Marcelo Moreno<sup>1</sup>, Ernesto Sanchez<sup>2</sup>, Alvaro Gamarra<sup>2</sup>, Gustavo Gil<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Juan, Departamento e Instituto de Informática, Complejo Universitario Islas Malvinas, Rivadavia. San Juan, Argentina

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Salta, Centro de Investigación y Desarrollo en Informática Aplicada – C.I.D.I.A., Salta, Argentina

nelson@iinfo.unsj.edu.ar, daaf@cidia.unsa.edu.ar, maritemurazzo@gmail.com, jorgenmp@gmail.com, mpmoren@gmail.com, esanchez@cidia.unsa.edu.ar, gdgil@unsa.edu.ar

**Abstract.** El enfoque ascendente para la enseñanza de redes fue el que habitualmente se utilizó en las carreras tanto de informática como de ingeniería. Los libros más citados en la bibliografía siguen este enfoque. Algunos autores como Jim Kurose y Keith Ross cuestionaron esto y propusieron el sentido descendente, el cual comienza por las capas superiores para luego adentrarse en los detalles de las capas más bajas, tratando de aprovechar los conocimientos previos de los estudiantes en el uso de aplicaciones de red. En las carreras tradicionalmente se ha utilizado en enfoque ascendente y en particular en la UNSJ, UNSa y UCSAL actualmente se utiliza este nuevo enfoque. Por ello el presente trabajo presenta las experiencias, conclusiones, sugerencias, junto con un estudio comparativo de otras carreras fuera del país, con respecto al modelo de enseñanza de asignaturas sobre Redes de Computadoras.

**Keywords:** Teaching Computer networks, Computer Science Education, Computer Networks, Teaching methods

### 1 Introducción

Redes de Computadoras es un área muy compleja de la informática, que involucra muchas tecnologías, conceptos y protocolos entrelazados de una manera complicada de abordar. Sin embargo docentes e investigadores han aplicado diversas estrategias para lograr que los estudiantes puedan apropiarse de estos contenidos y puedan aplicarlos adecuadamente en las prácticas y en su futura vida profesional. Se puede citar el trabajo de Anders Berglund [1], que propone estrategias para la enseñanza de protocolos de Internet y en particular TCP. En el presente trabajo se aplica el enfoque descendente para la enseñanza de esta temática y además se analizan diversos cursos de universidades extranjeras de referencia, donde se aprecia en su mayoría esta estrategia.

El enfoque ascendente es el habitual heredado del origen de las redes de computadoras que son las telecomunicaciones, con una impronta ingenieril muy fuerte. Luego al transformarse estas redes de comunicaciones en redes de datos, la fusión generó una serie de especialistas nuevos y también una jerga que es muy precisa. Acrónimos y siglas por doquier que permiten referenciarse a un objeto sin tener que describir todas sus características como: RJ45, WLAN, IPv6, host, backbone, etc.

Sin embargo, los estudiantes de informática presentan ciertas dificultades para comprender el enfoque ascendente, además no tiene mucho sentido dedicar tiempo a clases de temas que en su quehacer profesional va a realizar esporádicamente.

Por otro lado, el enfoque descendente parte de la capa aplicación, que es la nuestro estudiante que recién comienza a cursar redes ha utilizado. De esta manera, se introduce a la materia por lo que conoce, las aplicaciones de red, para luego ir descendiendo en las capas que conforman el modelo y llegar a los detalles de cómo se implementan esas aplicaciones. En este punto, el estudiante comprende que para mejorar, proteger las aplicaciones, servicios y datos es necesario comprender lo que pasa debajo y de esta forma se lo introduce en las capas subsiguientes.

El enfoque ingenieril ascendente también tiene esta premisa, solo que el estudiante de telecomunicaciones ha tenido materias de física, teoría de la señal o similares y el concepto de señal le es familiar y no así el concepto de protocolo por ejemplo. Con lo cual se introduce al estudiante desde la capa física, pero en casos poco habituales (como materias optativas) llega a estudiar la capa transporte.

## **2 Enfoque tradicional**

Habitualmente se enseña redes, siguiendo el modelo de capas de OSI, TCP o híbrido (como la mayoría de los libros de textos: por ejemplo Computer Networks de Andrew Tanenbaum y David Wetherall [3], Data and Computer Communications de Williams Stallings [4], Computer Networks: a Systems Approach de Larry Peterson y Bruce Davie [5], TCP/IP Illustrated de Richard Stevens [6], Computer Networks and Internets de Douglas Comer [7] y Data Communications, Computer Networks, and Open Systems de Fred Halsall ; para la parte práctica: Advanced Programming in the UNIX Environment de Richard Stevens y Stephen Rago), parten de una introducción general , luego se abordan detalles de la capa física, capa de enlace y así sucesivamente hasta llegar a la capa aplicación. A este enfoque se lo conoce como ascendente, dado que en la jerga de comunicaciones, la capa física se la referencia como capa 1, enlace 2 y así hasta llegar a la capa aplicación (7 en el modelo OSI). Algunas estrategias de enseñanza se basan en el modelo OSI de 7 capas, otras en el modelo TCP/IP de 3 capas, a las que usualmente se le agregan la capa enlace y capa física, dado que estas involucran el funcionamiento de las redes LANs, WLANs, y protocolos de acceso a la red como PPP.

Lo más ventajoso de este esquema es la variedad de libros de textos que siguen el mismo, y la madurez que ha alcanzado, debido al tiempo que se viene aplicando en la enseñanza de redes.

### 3 Ventajas del Enfoque descendente

La enseñanza de redes bajo este enfoque comienza por la capa aplicación y se trabaja hacia abajo terminando por la capa de enlace y los conceptos necesarios de la capa física para comprender el funcionamiento de los protocolos de redes LAN y WLAN. Según Kurose y Ross [8], la retroalimentación que recibieron de profesores y estudiantes, han confirmado que este enfoque de arriba hacia abajo tiene muchas ventajas y en realidad funciona muy bien pedagógicamente. En primer lugar, se hace hincapié en la capa de aplicación (un "área de alto crecimiento" en redes de computadoras). De hecho, muchos de los temas que están revolucionando las redes y el impacto de IT en el mundo de los negocios incluyen la Web, el intercambio de archivos peer-to-peer, y la transmisión de contenido multimedia, SaaS en Cloud Computing, forman parte de la capa aplicación, los cuales habitualmente son abordados en otras asignaturas.

Colocar el énfasis inicial en cuestiones de capa aplicación se diferencia de los enfoques adoptados en la mayoría de los textos tradicionales, que tienen sólo una pequeña cantidad de material en aplicaciones de red, sus requisitos, los paradigmas de capa de aplicación (por ejemplo, cliente-servidor y peer-to-peer), y las interfaz de programación de aplicaciones.

Por otra parte, según lo documentado por Kurose y Ross en el libro: Computer Networking: A Top-Down Approach [8], de acuerdo con su experiencia y la de otros instructores que aplican el enfoque descendente, comprobaron que la enseñanza de aplicaciones de red al comienzo del curso es una poderosa herramienta de motivación. Los estudiantes están encantados de aprender acerca de cómo trabajan las aplicaciones de red que utilizan cotidianamente, como el correo electrónico y la Web. Una vez que un estudiante entiende las aplicaciones, puede entonces comprender los servicios de red necesarios para soportar estas aplicaciones.

El estudiante puede entonces, a su vez, examinar las diversas formas en que dichos servicios pueden estar formulados y soportados por las capas inferiores. Cubriendo los conceptos y fundamentos detrás de las aplicaciones en una etapa temprana de la enseñanza de redes, se proporciona una motivación para el resto del curso.

Además, un enfoque de arriba hacia abajo permite a los profesores introducir el desarrollo de aplicaciones de red en una etapa temprana. Los estudiantes no sólo perciben cómo las aplicaciones y protocolos populares trabajan, sino también aprenden lo fácil que es crear sus propias aplicaciones de red y protocolos de nivel de aplicación.

Con el enfoque de arriba hacia abajo, los estudiantes obtienen la exposición temprana a las nociones de programación de sockets, modelos de servicio, y los conceptos de protocolos importantes que son necesarios en todas las capas subsecuentes. Proveyéndose ejemplos en algún lenguaje de programación de sockets como Java o Python, se destacan las ideas centrales sin confundir a los estudiantes con el código complejo. Los estudiantes universitarios de sistemas y ciencias de la computación no deberían tener dificultades para seguir y comprender este código.

Desde una perspectiva pedagógica, se observa que el enfoque descendente parece más adecuado en base a la experiencia. La presentación y abordaje de cada tema en un nivel de abstracción conceptual, sin necesidad de llegar a los detalles intrincados de cada protocolo. Por otro lado, el uso de Internet permite al estudiante comprender

rápidamente el funcionamiento de la red de redes Internet, y prepararlo para afrontar cualquier tecnología de redes.

## 4 Currículas Analizadas

### 4.1 Currículas Internacionales

Se han analizado diversos programas de estudio de distintas universidades. Para ello se revisaron los cursos de ejemplo que presenta la currícula ACM – IEEE 2013 [9], y además se tomó en cuenta el ranking elaborado por Centro de Universidades de Clase Mundial de Shanghai Jiao Tong University ( CWCU ) sobre las universidades de todo el mundo, que tiene en cuenta artículos indexados por SCIE (Science Citation Index-Expanded), los criterios otorgados para la construcción del ranking pueden ser consultados en el sitio [10]. Teniendo en cuenta este ranking para Computer Science y los tres ejemplos de la currícula IEEE-ACM que aparecen en el documento, se seleccionaron además las cuatro universidades de Estados Unidos mejor posicionadas y siete fuera de Estados Unidos. De todas estas universidades, se realizó un análisis de las planificaciones de cursos de Redes de Computadoras.

El reporte de la ACM-IEEE, presenta tres modelos de contenidos sobre Redes, los cuales son analizados a continuación:

Computer Networks I, Case Western Reserve University Cleveland, Prof. Vincenzo Liberatore. (pág. 318). La organización por semana del curso se inicia por una unidad introductoria, luego la capa de aplicación y siguiendo el enfoque descendente hasta llegar a redes LAN y Ethernet. Finaliza con una unidad de sobre wireless y redes móviles.

La Universidad de Stanford ofrece el curso CS144: Introduction to Computer Networking, a cargo de Phil Levis and Nick McKeown (pág.320) (cs144.stanford.edu). También expone un enfoque descendente, comenzando con una unidad de introducción, luego aplicaciones de red, entrega confiable, routing, redes LAN, finalizando con interface de comunicación, agrega además después unidades de desarrollo teórico como máquina de estado finito, confiabilidad y asignación de recursos.

Computer Networks, Williams College Williamstown, Massachusetts Thomas Murtagh. (pág. 323 del informe). ([http:// www.cs.williams.edu/~tom/courses/336](http://www.cs.williams.edu/~tom/courses/336)). Esta Universidad presenta un enfoque mixto, dado que comienza con HTTP, en la segunda semana continúa con redes de difusión y redes Ethernet, luego capa de red, capa de transporte, seguridad y finaliza con la capa física.

De las Universidades citadas en ranking y mejor posicionadas de USA, se analizó:

Instituto tecnológico de Massachusset (MIT) [11]: presenta el curso Computer Networks (otoño 2002). Está estructurado en tres módulos: Internetworking y ruteo, administración de recursos y servicios de red. Fundamentalmente los temas son IP y

TCP. Tiene un enfoque mixto, dado que analiza red y transporte para finalizar con inalámbrico, MAC y multicast. No sugiere ningún libro de texto pero sí numerosos artículos para analizar.

Universidad de Berkeley [12] ofrece el curso Computer Networks (2014). Presenta como bibliografía los libros Peterson, Davie[5], Kurose, Ross[8] y Stevens[6]. Este curso solo trata temas de interconexión y ruteo, no es una asignatura de redes completa. Se divide en las siguientes cuatro partes: Internetworking, Infraestructura e Intra-domain, Datacenters and SDN y finalmente Herramientas, Técnicas y Redes no tradicionales. Si bien sigue un enfoque descendente, no se puede destacar debido a que no es un curso sobre todas o gran parte de las capas.

Universidad de Princeton: el curso presentado es Computer Networks [13]. Incluye los temas: capa de red y protocolos, descubrimiento y ruteo, asignación distribuida de recursos, Aplicaciones de Internet y casos de estudio sobre redes. Como libro principal recomienda Peterson, Davie [5]. Presenta un enfoque no orientado a capas sino a la funcionalidad, empezando por protocolos (para capas de enlace, capa de red, capa de transporte y capa de aplicación), luego asignación de recursos, ruteo y descubrimiento, Aplicaciones de Internet (CDN, P2P, overlay networks), estudio de casos (redes para centro de datos, inalámbricas, Ad-hoc, Backbone) y seguridad.

Universidad de Harvard: presenta el curso Computer Networks [14], que también desarrolla el curso de forma transversal y no por capas incluyendo los temas: Conceptos básicos de redes, Internet de las cosas, redes de bajo consumo (BLE), Redes para Centro de datos, Redes definidas por el software, Redes a escala Web, Redes de entrega de Contenido, Seguridad, Redes inalámbricas, Machine Learning Assisted Networking y Redes vehiculares y Cyber-physical.

Universidad de Toronto: el curso Computer Networks [15]. Es introductorio y su contenido es: sistemas de packet switching, programación de sockets, protocolos software y hardware de red, naming y direccionamiento, control de congestión, redes definidas por el software, seguridad en red y redes inalámbricas. El énfasis del curso es la programación de aplicaciones y de red. Libro principal sugiere: Peterson, Davie [5], y como libros recomendados: Stevens, Rago [27] y Stevens [6].

El Instituto de Tecnología Federal Suizo de Zurich [16]: presenta la materia Communication Networks (primavera 2016). Utiliza como libro principal de texto a Kurose, Ross [8]. Solo se enfoca en Internet, capa de Red y transporte, ruteo, UDP y TCP, SDN y seguridad. No trata la capa aplicación (salvo en seguridad) y no tiene ningún concepto de la capa física. Sigue un enfoque descendente aunque no es curso completo de redes.

Technion Israel Institute of Technology [17]: presenta el curso Introduction to Computer Networks. Como libros de texto indica a los autores: Halsall [28] y Tanenbaum, Wetherall [3]. Utiliza un enfoque ascendente comenzando por introducción, capa de enlace, teoría de colas, protocolos MAC, LANs, Broadband, LAN bridging y TCP/IP.

Universidad de Cambridge [18]: presenta el curso Computer Networking. Utiliza aproximación descendente y es un curso completo de redes con los siguientes contenidos: introducción, capa de enlace, wireless, IP, ruteo, capa de transporte (UDP/TCP), capa de aplicación, Redes Multimedia y Redes para centro de datos. Los libros recomendados por los profesores son: Peterson [5], Kurose[8], Comer [7] y Stevens, Rago [27].

Universidad Nacional de Taiwan [19]: ofrece el curso Computer Networks, Como libro de texto sugiere a los autores Kurose y Ross [8], y como libros de referencia a Peterson y Davie [5], y Stevens [6]. Cubre los principios básicos de redes con un enfoque descendente y énfasis en los protocolos, sus implementaciones y aspectos específicos de Internet. El contenido del curso incluye: Redes de Computadoras e Internet, Capa Aplicación, Transporte, Red, redes inalámbricas y móviles, redes Multimedia, Seguridad en Redes y Administración.

Universidad Tsinghua (China): presenta el curso Advanced Computer Network. Trata los principios del diseño de redes de computadoras, la arquitectura de Internet, protocolos de red. Cubre los tópicos: LAN y Ethernet, Internetworking e IPV6, ruteo, multicast, TCP y control de congestión, P2P y redes superpuestas, móvil e inalámbrico, seguridad y futuro de Internet. Sugiere los libros de Stevens [6] y Stevens, Rago [27]. Utiliza un enfoque ascendente en la mayoría de las unidades.

De las universidades de habla hispana, la Universidad de Granada es la primera que figura en el ranking. Ofrece el curso Fundamentos de Redes. Se imparte por el Depto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones. Sigue el modelo descendente, y sugiere como libros de texto: Pedro G. Teodoro, Jesús D. Verdejo y Juan M. L. Soler. Transmisión de datos y redes de computadores, Ed. Pearson, 2007 y Kurose Ross [8]. Comienza el curso con: Introducción a los Fundamentos de Redes, luego sigue con Servicios y Protocolos de Aplicación en Internet, posteriormente la Capa de Transporte en Internet y finaliza con Redes Conmutadas e Internet. Los aspectos de seguridad están distribuidos en las distintas teorías como son: Protocolos seguros, cortafuegos y VPNs.

## **4.2 Universidad Nacional de San Juan, Salta, Católica de Salta y Nacional de Santiago del Estero**

El presente trabajo se realizó dentro del marco del protocolo de colaboración entre Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) y la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNSJ [2].

### **4.2.1 UNSJ**

En la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, se dicta la materia Redes en tercer año, para las carreras de Licenciatura en Sistemas de Información y Licenciatura en Ciencias de la Computación (la misma materia para ambas carreras).

Es una sola materia en el plan de estudios vigente, que trata todos los contenidos sobre redes de computadoras, según la resolución 786 [23] y que se han actualizado conforme han surgido recomendaciones curriculares por parte de la red UNCI [22].

La evaluación de los estudiantes se realiza por medio de 2 parciales y diversos prácticos áulicos y en laboratorio, para ello se utiliza software como simuladores de redes y analizadores de tráfico entre otros [24].

En el año 2013, se realizó el cursado con un enfoque mixto, con algunas unidades en orden descendente y otras ascendente. A partir de los resultados obtenidos y la experiencia pedagógica, se decidió a partir del ciclo 2014, cambiar el orden del dictado de la asignatura y utilizar el libro de Kurose, Ross [8]. Para planificar adecuadamente el nuevo curso, se tuvo que redefinir la unidad introductoria (de conceptos generales) la cual permitió también rediscutir el alcance de cada una de las unidades.

Un número reducido de estudiantes que recurieron la materia fueron entrevistados por el equipo de cátedra y afirmaron que les resultó más fácil de entender los contenidos con el nuevo enfoque. Si bien, los estudiantes al recurrir ya tenían conocimientos de redes, al haber cursado anteriormente la asignatura, sus afirmaciones deben ser tenidas en cuenta. Asimismo, se redujo el porcentaje de desaprobados en ambos parciales con respecto a años anteriores cuando no se aplicaba el enfoque descendente.

Los datos relevados indican que durante 2012 y años anteriores (con el enfoque tradicional), el porcentaje de estudiantes que obtuvieron la regularidad estaba entre un 45 y 60%, en 2013 con un enfoque mixto aprobaron un 75,87% y en 2014 ya con el enfoque descendente hubo un 85,24% y en 2015 76,19%.

#### **4.2.2 UNSa**

En la Universidad Nacional de Salta se imparte la carrera Licenciatura en Análisis de Sistemas. En su plan de estudios vigente del año 2010, los contenidos sobre redes de computadoras están incluidos en dos asignaturas: Redes de Computadoras I y Redes de Computadoras II en el cuarto año, primer y segundo cuatrimestre respectivamente. Dichos contenidos fueron actualizados conforme a las recomendaciones curriculares de la red UNCI [22]. Ambas asignaturas siguen el nuevo enfoque descendente desde su implementación en el año 2013. La evaluación de los estudiantes en cada asignatura, se realiza por medio de cuatro exámenes parciales (uno para cada tema del programa). En la práctica se utilizan simuladores y como guía el libro desarrollado por la Cátedra denominado Redes de Computadoras I con Packet Tracer [26], que acompaña cada tema del libro de base de Kurose y Ross [8], con ejercicios prácticos resueltos con el simulador.

Cuando el estudiante llega a cursar la asignatura Redes de Computadoras I, trae consigo un bagaje de conocimiento sobre el manejo de los servicios más destacados en Internet y su funcionalidad desde el punto de vista del usuario, esto es, navegadores, clientes FTP, clientes e-mails, servicios DNS, aplicaciones de telefonía IP y muchos otros. El enfoque descendente parte de este conocimiento para primeramente tratar los protocolos de capa de aplicación que implementan estos servicios, protocolos HTTP, FTP, SMTP, DNS. Este primer acercamiento a los

fundamentos sobre protocolos, se centra en la simplicidad de protocolos como HTTP y SMTP, para luego analizar los protocolos más complejos como FTP y DNS, siempre resaltando los conceptos necesarios sobre la capa de transporte y la interfaz de programación Sockets. Posteriormente se tratan los fundamentos de capa de transporte y los protocolos UDP y TCP. En este punto también es importante introducir el concepto de dirección IP y el de servicio no fiable que brinda IP. Finalmente se estudia la capa de red, el protocolo IP y los protocolos asociados como son protocolos ICMP, DHCP y protocolos de ruteo, en esta instancia también se hace necesario introducir algunos conceptos de la capa de enlace.

La asignatura Redes de Computadoras II, continuación de la anterior, trata inicialmente la capa de enlace y redes de área local para luego adentrarse en temas más avanzados sobre seguridad de redes y gestión de redes.

Como se puede advertir, en el enfoque descendente se hace necesario, cuando se trata una determinada capa del modelo TCP/IP, introducir algunos conceptos de la capa inferior, por ejemplo, cuando se explica que los datos son encapsulados en la estructura de datos de la capa inferior. Quizás, esto sea lo único criticable de este enfoque, sobre todo para los que se formaron con el enfoque tradicional, se podría decir, que el tratamiento de una capa en particular “no es tan limpio como en el enfoque tradicional”. Aunque, finalmente esto parece ser más una percepción de los que estudiaron con el enfoque ingenieril que de los estudiantes que están muy gustosos y motivados con el nuevo enfoque descendente.

La mayor ventaja que se observa del enfoque descendente, es su dirección pedagógica y didáctica en lo que respecta al aprendizaje de redes de computadoras. La presentación y abordaje de cada tema en un nivel de abstracción conceptual, sin necesidad de llegar a los detalles intrincados de cada protocolo, lo que quizás sea más aplicable al libro de los autores Kurose y Ross que al propio enfoque.

Realizando una comparación la asignatura Conectividad y Teleinformática perteneciente al viejo plan de estudios del año 1997, se pudo observar en el período 2013-2015 un mayor porcentaje de estudiantes regulares en cada cursada. Cabe aclarar que esta asignatura a la fecha, ya se encuentra extinta.

En la experiencia en la Universidad Nacional de Salta, este enfoque permitió abordar temas como seguridad y gestión de redes que nunca antes, con el enfoque tradicional ascendente, se había podido brindar a los estudiantes por cuestiones de tiempos.

### **4.2.3 UCASAL**

A raíz del convenio existente entre la Universidad Nacional de Salta y la Universidad Católica de Salta [2], se pudo realizar la transferencia necesaria para la implementación del nuevo enfoque en la UCASAL. Actualmente y desde el año 2015, la asignatura Redes I del tercer año de la carrera Ingeniería en Telecomunicaciones de la UCASAL, se basa en un enfoque mixto. Esta asignatura abarca todas las capas del modelo TCP/IP. Si bien el libro de base utilizado es el de Kurose y Ross y la parte teórica sigue el nuevo enfoque, la práctica todavía se basa en el enfoque tradicional ascendente. Esta mezcla dificulta poder abarcar toda la temática que se estudia en la teoría, en la práctica, ya que esta comienza con temas más vinculados a la capa de



enlace y protocolos como ARP, para luego analizar casos concretos de configuración sobre redes IP, VLANs, etc. La asignatura Redes II, es la continuación de la primera y abarca la temática sobre redes WAN.

En la planificación, se prevé para el próximo año 2017, realizar la implementación total del enfoque descendente en la primera asignatura Redes I.

#### **4.2.4 UNSE**

En la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, se imparte la carrera Licenciatura en Sistemas de Información. En su plan de estudios del año 2011, los contenidos sobre redes de computadoras se desarrollan en dos asignaturas Redes I [25] en el tercer año y Redes II en el cuarto año. Si bien, como parte de la bibliografía de base se propone el libro de los autores Kurose y Ross [8], ninguna de las dos asignaturas sigue el enfoque descendente. Los contenidos de la asignatura Redes I, sigue el diseño tradicional ascendente, comenzando con una introducción al modelo de comunicación, transmisión de datos, enlace de datos y redes de área local LAN. Se han iniciado conversaciones entre responsables de asignaturas de la UNSa, UNSJ y UNSE con el objeto de redactar convenios de cooperación en diversos aspectos del dictado de redes entre ellos la aplicación del enfoque descendente y la utilización de herramientas de simulación.

## **5 Conclusiones**

El enfoque descendente permite a los estudiantes colocar el énfasis inicial en la capa aplicación, que prepara los fundamentos hacia la computación distribuida, donde se están produciendo los cambios más importantes y notables de los últimos años como son: Cloud Computing, computación ubicua, Redes Sociales, Redes Superpuestas y Big Data (desde el punto de vista de la comunicación de los componentes) entre otros.

En un futuro cercano ciertos conceptos como SDN (Redes Definidas por el Software), virtualización de red, Redes definidas por las aplicaciones, IoT serán claves para la Internet del futuro.

Por otro lado, los estudiantes se entusiasman debido a que encuentran los conceptos iniciales, o sea la capa aplicación, más “familiares” y fáciles de entender, y luego van apropiándose de los conceptos de TCP/UDP, Internetworking e IP (donde comprenden la complejidad de las redes) y luego los LAN, WLANs, WANs y tecnologías para acceso a la red. La seguridad es sumamente importante y es conveniente analizarla en conjunto con las otras unidades a medida que son desarrolladas, tanto como sea posible y no como una unidad inconexa.

De los catorce cursos internacionales analizados se obtienen los siguientes datos: seis de los mismos siguen el enfoque descendente. Dos de ellos un enfoque mixto (algunas capas de forma descendente y otras ascendente), dos cursos solo tratan IP y TCP (no son cursos completos de redes) y al igual que las dos que incluyen un enfoque transversal (no orientado a capas) se complementan con otros cursos para la enseñanza de la capa aplicación o temas faltantes.

## 6 Referencias

1. Berglund Anders. What Is Good Teaching of Computer Networks?. 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. (2003).
2. Protocolo de colaboración entre el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) y la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNSJ.
3. Andrew Tanenbaum, David Wetherall. Computer Networks 5th Edition. Pearson New International Edition (2013).
4. William Stallings. Data and Computer Communications, Tenth Edition. Pearson Prentice Hall. (2014).
5. Larry L. Peterson and Bruce S. Davie. Computer Networks a systems approach. Fifth Edition. Morgan Kaufmann Publishers - Elsevier. (2012).
6. W. Richard Stevens. TCP/IP Illustrated, Vol. 1: The Protocols 2da Edition. (Addison-Wesley Professional Computing Series). (2012).
7. Douglas Comer. Computer Networks and Internets (6th Edition). Pearson Prentice Hall (2014).
8. J.F. Kurose, K.W. Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach (6th Edition). Pearson Education. (2015).
9. Computer Science Curricula 2013. The Joint Task Force on Computing Curricula ACM - IEEE Computer Society: <http://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>
10. Academic Ranking of World Universities. <http://www.arwu.org/>
11. MIT: Computer Networks. <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-829-computer-networks-fall-2002/>
12. Universidad de Berkeley: <http://people.eecs.berkeley.edu/~sylvia/cs268-2014/syllabus.html>
13. Universidad de Princeton: <http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/spr14/cos461/>
14. Universidad de Harvard: <https://locator.tlt.harvard.edu/course/colgsas-118418>
15. Universidad de Toronto: <http://www.cdf.toronto.edu/~karaman/csc458/CourseInfo.pdf>
16. Swiss federal Institute of Technology Zurich: <https://www.inf.ethz.ch/studies/bachelor.html>
17. Technion Israel Institute of technology: <https://webcourse.cs.technion.ac.il/236334/Spring2016/>
18. Universidad de Cambridge: <https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1314/CompNet/>
19. National Taiwan University: <http://www.cmlab.csie.ntu.edu.tw/~rod24574575/CN2015/>
20. Universidad Tsinghua: <http://thu-cmu.cs.tsinghua.edu.cn/curriculum/ACN/FIA.htm>
21. Universidad de Granada: [http://dtstc.ugr.es/it/gitt\\_it/index.php](http://dtstc.ugr.es/it/gitt_it/index.php)
22. Documentos curriculares Red UNCI, <http://redunci.info.unlp.edu.ar/documentos.html>
23. Resolución 786/2009. Ministerio de Educación. Educación superior. Junio 2009.
24. Arias Figueroa, D. (UNSa), Díaz, J. (UNLP), Rodríguez, N. (UNSJ) et al.: Estudio de la influencia del uso de simulación en la enseñanza de redes de computadoras en el nivel universitario (resultados parciales). In: XVIII WICC (2016).
25. Programa Analítico de la asignatura Redes I de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. <http://fce.unse.edu.ar/sites/default/files/pdf/asignatura/REDES%20I.pdf>
26. Daniel Arias Figueroa. Redes de Computadoras I con Packet Tracer. Editorial de la UNSa - EDUNSa. ISBN 978-987-633-132-6-1; 1a ed. - Salta - E-Book. 2015.
27. Richard Stevens y Stephen Rago.: Advanced Programming in the UNIX Environment, 3rd Edition. Pearson Education Inc. (2013).
28. Fred Halsall Data Communications, Computer Networks, and Open Systems 4th Edition. Addison Wesley (1996)