



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

NetFPGA: DOCENCIA E INVESTIGACIÓN PARA LA INNOVACIÓN EN REDES DE COMPUTADORAS

César D. Guerrero, Manuel F. Jaimes, Yolanda Carreño

**Universidad Autónoma de Bucaramanga
Bucaramanga, Colombia**

Antonio Lobo

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

La educación en redes de computadoras se ha orientado principalmente a la conceptualización y uso de equipos de red como *switches* y *routers* para responder a la demanda de profesionales capacitados en el uso de dichos dispositivos. Este “aprender para usar” se aleja del “aprender para crear” en donde se busca fundamentar conceptualmente al estudiante con el fin de que se puedan crear nuevos dispositivos o agregar funcionalidades a los ya existentes. La Universidad de Stanford ha creado una plataforma de hardware y software abierto denominada NetFPGA que permite implementar nuevos dispositivos de red. Este artículo presenta una estrategia a través de la cual investigadores y estudiantes se reúnen en un seminario para fundamentarse conceptual y experimentalmente en el uso de la plataforma NetFPGA en actividades de docencia e investigación. El seminario se desarrolla presencial y virtualmente con el apoyo de herramientas de interacción y colaboración como *Piazza*, *Moodle*, *Skype* y *Facebook*. A la fecha se han vinculado investigadores, docentes y estudiantes de nueve universidades de Colombia, España y Estados Unidos. Como resultado del seminario se han generado cinco trabajos de grado de maestría y pregrado, un proyecto de investigación interinstitucional, un semillero de investigación, un proyecto de joven investigador, entre otros resultados.

Palabras Clave: NetFPGA; redes de computadoras; innovación

Abstract

Education in computer networks has been mainly oriented to the study and use of network devices such as switches and routers to meet the demand of trained professionals in the use of such devices. This “learning

to use" is far from the "learning to create" where the student is conceptually strengthen so that they can create new devices or add functionality to existing ones. Stanford University has created a hardware and software open platform called NetFPGA that allows the implementation of new network devices. This paper presents a strategy in which researchers and students meet in a seminar to learn conceptual and experimentally in the use of the NetFPGA platform for teaching and research activities. The seminar takes place in person and virtually with the support of interaction and collaboration tools such as Piazza, Moodle, Skype and Facebook. Currently have joined researchers, teachers and students from nine universities in Colombia, Spain and the United States. As a result of the seminar, there are five final projects at the graduate and undergraduate level, one university funded research project, and one young researcher's project, among other results.

Keywords: *NetFPGA; computer networks; innovation*

1 Introducción

La educación sobre tecnología y particularmente la enseñanza en el área de redes de computadoras se ha orientado al uso más no al desarrollo de tecnología. Los currículos de muchas universidades se ven influenciados por orientaciones establecidas por compañías que, a nivel mundial, lideran el desarrollo de dispositivos de red. Esta transferencia tecnológica de "cajas negras" que se acceden a través de sistemas propietarios afecta la capacidad de análisis sobre la operación de la tecnología y su posibilidad de mejora o adaptación a requerimientos particulares del contexto.

El potencial innovador de un país está determinado, entre otros aspectos, por sus políticas educativas para el fomento de la innovación. Para el año 2012 y de acuerdo con el *Global Innovation Index* (Dutta, 2012), Colombia ocupaba la posición 65 entre 141 naciones en términos de innovación. Uno de los componentes que afectaron el índice de innovación fue el de educación, en el cual Colombia se ubicó en la posición 110. La definición de estrategias para potenciar la creatividad en los procesos de docencia e investigación, contribuye al mejoramiento del potencial de innovación de un país. Este artículo presenta una estrategia orientada a desarrollar capacidades para innovación en redes de computadoras utilizando la plataforma NetFPGA (Naous, Gibb, Bolouki, & McKeown, 2008).

La plataforma NetFPGA fue creada por el grupo de *High-Performance Networking* de la Universidad de Stanford. Esta plataforma de hardware y software abierto permite desarrollar, en poco tiempo y a bajo costo, prototipos de dispositivos de red que operen a altas velocidades. La NetFPGA esta compuesta por cuatro elementos: 1) el hardware abierto representado en la tarjeta programable con cuatro puertos de red de alta velocidad; 2) herramientas y diseños de referencia que facilitan la creación de nuevos dispositivos tomando como punto de partida diseños estándar; 3) proyectos desarrollados y disponibles para que puedan ser reutilizados; y 4) una comunidad académica e investigativa que en mas de 150 instituciones alrededor del mundo está desarrollando proyectos y documentando la plataforma para que otros puedan beneficiarse de ella.

El uso de la plataforma NetFPGA en la educación se ha concentrado principalmente en el desarrollo de cursos de posgrado, talleres teórico-prácticos y tutoriales informativos acerca de la plataforma y su potencial uso. Diferentes universidades alrededor del mundo han incorporado en sus currículos cursos de posgrado que se orientan a construir dispositivos de red como enrutadores y *switches* (Gibb, Lockwood, Naous, Hartke, & McKeown, 2008). Ejemplo de ello es el curso "*CS344: Building an Internet Router*" que se

imparte en la Universidad de Stanford. En este curso, estudiantes con fortalezas en hardware y software se unen para desarrollar proyectos utilizando la NetFPGA para posteriormente presentarlos a académicos y empresarios. Adicionalmente se desarrollan campamentos o talleres teórico-prácticos en los que durante una semana se reúnen participantes de todo el mundo en diferentes lugares como Estados Unidos, Reino Unido, India, China, y Australia con el propósito de adquirir habilidades en el uso de la plataforma y desarrollar proyectos de interés que puedan ser culminados en tres días e igualmente presentados a empresarios interesados en ideas innovadoras en redes de computadoras. Otro mecanismo de divulgación de los beneficios de NetFPGA en docencia e investigación es el desarrollo de tutoriales informativos que en cuatro horas presentan una descripción de la plataforma y algunos ejemplos de uso.

Aunque cursos en currículos de posgrado, talleres cortos y tutoriales informativos son estrategias que permiten comprender el uso potencial de NetFPGA en la creación de dispositivos de red, su impacto se limita al lugar y tiempo en el que se desarrollan. Se hace necesaria una estrategia que mitigue las limitaciones espacio-temporales y que permita llevar a cabo una reflexión sistemática y permanente sobre las potencialidades de la NetFPGA en docencia, investigación e innovación. Este artículo presenta la experiencia que, en ese sentido, se ha desarrollado en la Universidad Autónoma de Bucaramanga integrando actores latinoamericanos en un seminario permanente sobre NetFPGA.

Lo que resta del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se define el seminario NetFPGA, sus objetivos de desarrollo y la infraestructura que lo soporta. La sección 3 presenta la metodología utilizada para el desarrollo del seminario. Posteriormente, en la sección 4 se analizan los resultados que se han obtenido durante el tiempo que se ha desarrollado el seminario para finalmente presentar las conclusiones del artículo en la sección 5.

2 El seminario NetFPGA

El seminario NetFPGA es una estrategia académica que busca integrar presencial y virtualmente actividades de docencia e investigación en redes de computadoras mediante el uso de la plataforma NetFPGA. El objetivo del seminario es desarrollar capacidades científicas para la innovación en procesos de enseñanza-aprendizaje y en el desarrollo de nuevos dispositivos de redes de computadoras a partir de actividades de investigación. El desarrollo del seminario involucra la utilización de diferentes herramientas tecnológicas de colaboración. Por una parte se encuentran las herramientas que se utilizan de manera asíncrona como *Moodle*, *Piazza* y *Facebook* y por otra parte las herramientas que operan de manera síncrona durante la realización del seminario como conferencia web y transmisión por *streaming*.

3 Metodología

El seminario NetFPGA se desarrolla en dos etapas. La primera etapa se basa en un trabajo asincrónico a través de plataformas de colaboración que permiten a los participantes fundamentarse en la plataforma y aportar a preguntas de análisis aplicadas a diferentes artículos de la literatura.

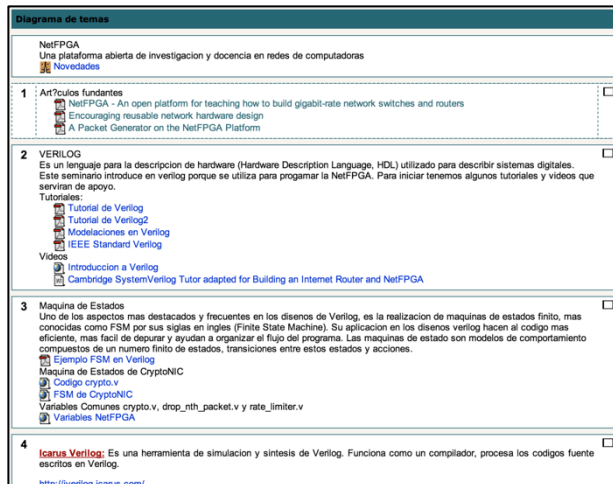


Figura 1. Apoyo asíncrono del seminario NetFPGA a través de Moodle

Esta etapa dura como mínimo una semana y precede el encuentro presencial del seminario. La segunda etapa presencial y virtual a través del uso de herramientas sincrónicas, consiste en la presentación de experiencias y artículos apoyado con herramientas de interacción virtual. Los detalles de cada etapa y la descripción de las herramientas para la realización del seminario, se describen a continuación.

3.1 Interacción asíncrona en el seminario NetFPGA

Con el fin de apoyar el trabajo independiente de los participantes del seminario, se utiliza la plataforma Moodle (ver Figura 1) como repositorio de información principalmente en español sobre conceptos, enlaces, ejemplos y herramientas que facilitan el trabajo con la NetFPGA tanto de los principiantes como de los que tienen un nivel medio de familiarización con la plataforma.

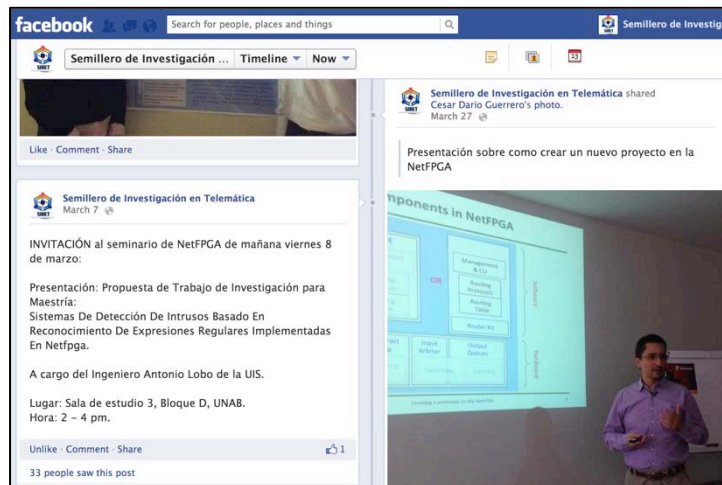


Figura 2. Uso de Facebook como herramienta de divulgación del seminario y de sus resultados

A través de una página de Facebook a la que se vinculan los participantes, se anuncian los encuentros regulares y extraordinarios que se realizan en el seminario y se publican fotos, videos u otra información asociada con las actividades realizadas o a realizar dentro del seminario. Tal como se observa en la Figura 2, se anuncia la realización de un seminario a la vez que se publican imágenes de otro seminario desarrollado.

La página que se está usando actualmente es la de un semillero de investigación en telemática cuyo ámbito de acción es limitado. En la medida en que el seminario se consolide a diferentes países de Latinoamérica, se utilizará la página Facebook de NetFPGA Latinoamérica creada con el fin de fortalecer la comunidad NetFPGA en países de habla hispana.

La principal herramienta de interacción asíncrona que se utiliza en el seminario NetFPGA, se denomina *Piazza*. Esta herramienta de colaboración permite que quienes hacen uso de ella puedan construir colectivamente una idea o responde a una pregunta. Parte de las actividades que se desarrollan en el seminario involucran el análisis de artículos de la literatura. Los participantes cuentan con recursos que les permiten acceder a los artículos, a la programación de las sesiones ordinarias del seminario y a plantillas que pueden utilizar para la presentación de artículos durante el seminario.

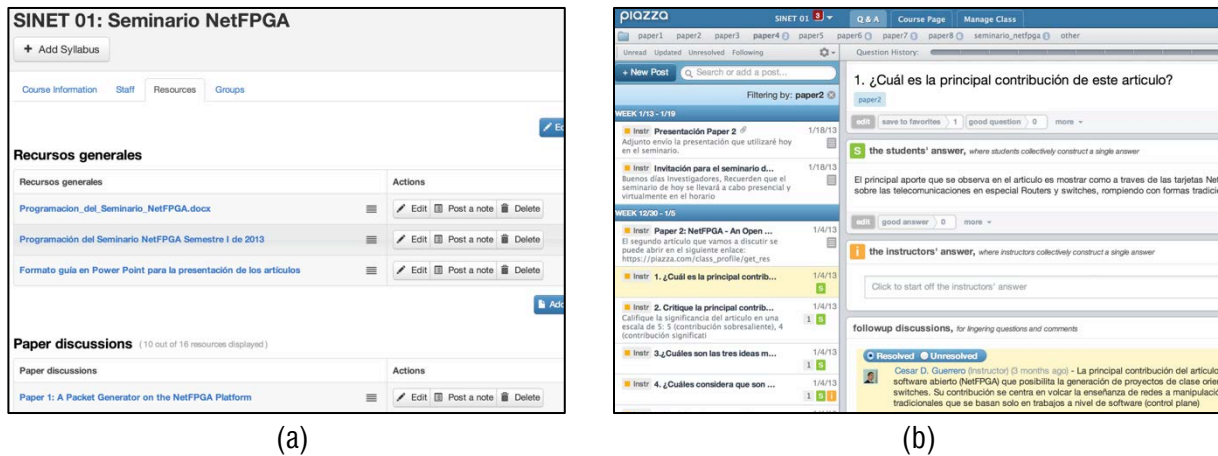


Figura 3. Uso de Piazza como plataforma de (a) gestión del seminario y (b) análisis de artículos

Como se muestra en la Figura 3 (a), Piazza se utiliza como apoyo a la gestión del seminario en términos de la información general y los recursos de organización del mismo como la programación de los encuentros y los artículos que se van a discutir. En la Figura 3 (b), se observa un ejemplo de colaboración para el análisis a una de las inquietudes que se plantea en cada artículo de la literatura que se revisa. Para cada artículo objeto de análisis del seminario, se dan cinco preguntas de análisis: 1) ¿Cuál es la principal contribución de este artículo?; 2) Critique la principal contribución del artículo; 3) ¿Cuáles son las tres ideas más fuertes y/o interesantes del artículo?; 4) ¿Cuáles considera que son las tres principales debilidades del artículo?; y 5) Mencione tres preguntas que le gustaría hacerle a los autores. Cada uno de los participantes del seminario contribuye a perfeccionar una única solución a las preguntas que se socializa y analiza posteriormente en las sesiones ordinarias del seminario.

3.2 Encuentro presencial e interacción síncrona del seminario

Durante los encuentros programados del seminario se utilizan herramientas tecnológicas que permiten que varios participantes puedan interactuar de manera virtual con los que lo hacen de modo presencial.

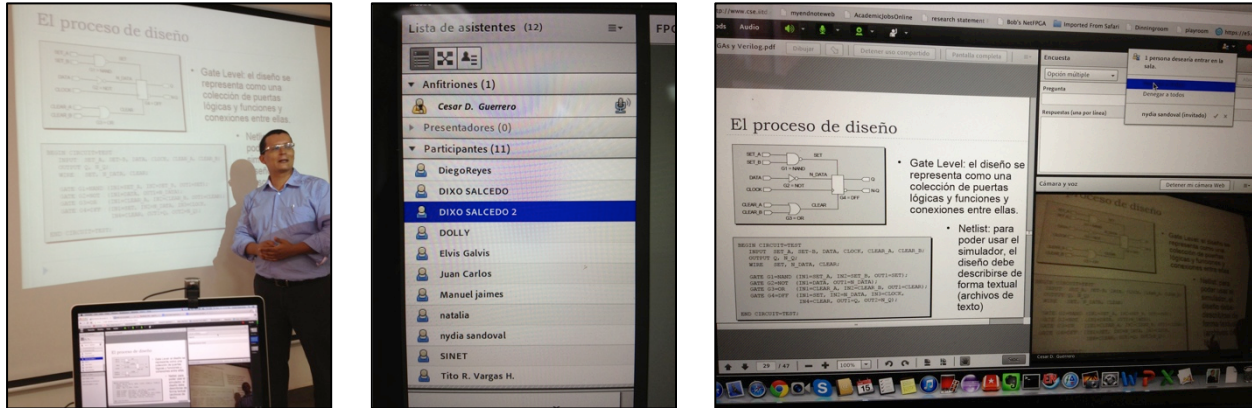


Figura 4. Interacción virtual síncrona a través de herramientas de Adobe Connect

Las herramientas de conferencia web como la que se presenta en la Figura 4, permiten que los participantes virtuales puedan ver las diapositivas o imágenes que se están presentando y participar a través del chat o solicitando acceso para hablar desde su computadora remota.

Cuando se trata de análisis de artículos de la literatura, el seminario se desarrolla de la siguiente manera. Uno de los participantes tiene asignada la tarea de preparar la presentación del artículo de acuerdo con una plantilla que se encuentra disponible en Piazza y que incluye los elementos principales que se esperan encontrar en la presentación de un artículo: 1) Motivación; 2) Marco teórico (*Background*); 3) Estado del arte (*Related work*); 4) Descripción de la solución (*Approach*); 5) Metodología; 6) Resultados; y 6) Conclusiones. Los demás participantes deben realizar sus aportes mediante la construcción de una respuesta unificada a las preguntas que se formulan en Piazza. Una vez hecha la presentación del artículo por uno de los participantes, se abre la discusión, análisis y crítica de los aportes del artículo y su relación con las actividades de investigación que desarrollan los participantes. Cuando no se analizan artículos, se realizan presentaciones de avances de los proyectos que se llevan a cabo y que se relacionan con NetFPGA. Esto incluye trabajos de pregrado y maestría, de semilleros de investigación, entre otros.

En algunos casos, se desarrollan seminarios que tratan de temas generales o de fundamentación en NetFPGA (similares a los tutoriales informativos) que buscan informar a la comunidad académica sobre la plataforma y la existencia del seminario como espacio de aprendizaje y colaboración. Estos seminarios masivos se transmiten vía *streaming* como se presenta en la Figura 5.

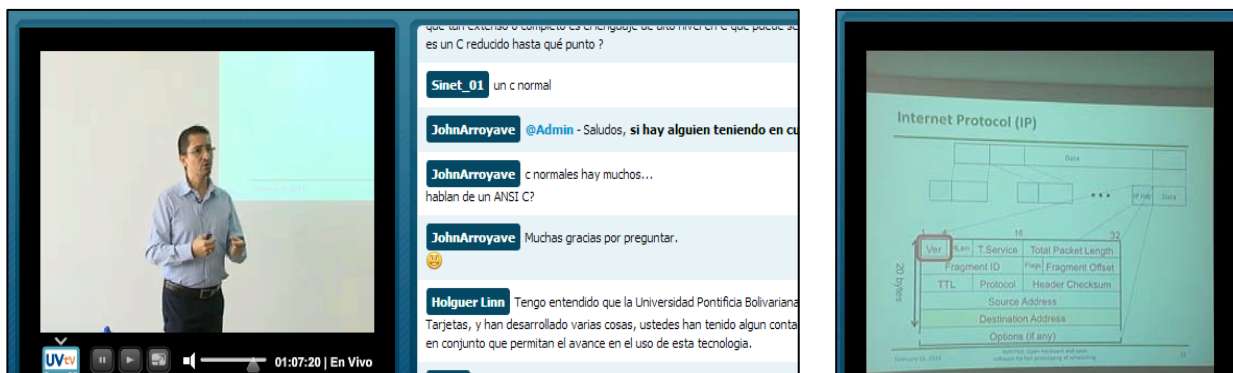


Figura 5. Transmisión por streaming del seminario NetFPGA

4 Resultados

El seminario inició a finales de 2012 con encuentros semanales para la revisión de artículos, presentación de casos, prácticas de laboratorio y otras actividades que, de manera ordenada, guían a los participantes hacia el desarrollo de nuevos proyectos para generación de prototipos de dispositivos de red. A la fecha se han vinculado investigadores, docentes y estudiantes de nueve universidades de Colombia, España y Estados Unidos. Se han generado cinco trabajos de grado de maestría y pregrado, un poster, un semillero de investigación, un proyecto de joven investigador, entre otros resultados.

Los seminarios se desarrollan con la participación de alrededor de 60 participantes (uniendo presenciales y virtuales) cuando se hacen seminarios que se transmiten de manera abierta a través de *streaming* tal como se observa en la Figura 6 (a) y de alrededor de 10 participantes cuando se desarrolla a través de herramientas de conferencia web como se observa en la Figura 6 (b). Es importante mencionar que los seminarios no hacen parte de ningún curso de ningún programa académico y por lo tanto no tiene ninguna evaluación o compromiso de asistencia de sus participantes. Cada miembro del seminario asiste y colabora de manera voluntaria. Sin embargo, se pudo observar que los participantes tienen dificultades para aportar semanal y asincrónicamente en la solución colectiva de las preguntas formuladas. Esto se puede deber a la dificultad para leer artículos en inglés, a la mediana complejidad de algunos de los artículos y a la poca disponibilidad de tiempo de la mayoría de los participantes.



Figura 6. Seminarios NetFPGA transmitidos por *streaming* y a través de conferencia web

Las herramientas tecnológicas utilizadas para la interacción virtual, permiten hacer seguimiento y tomar medidas conducentes a motivar la participación activa de los miembros del seminario. En lo que hace referencia a Piazza, se han analizado ocho artículos de la literatura en los que han colaborado un máximo de 10 participantes diarios según se puede observar en la Figura 7 (a). En la misma figura se evidencia un total de 310 contribuciones en las cuales los participantes que mayor actividad tuvieron fueron dos estudiantes de maestría con 41 y 14 contribuciones.

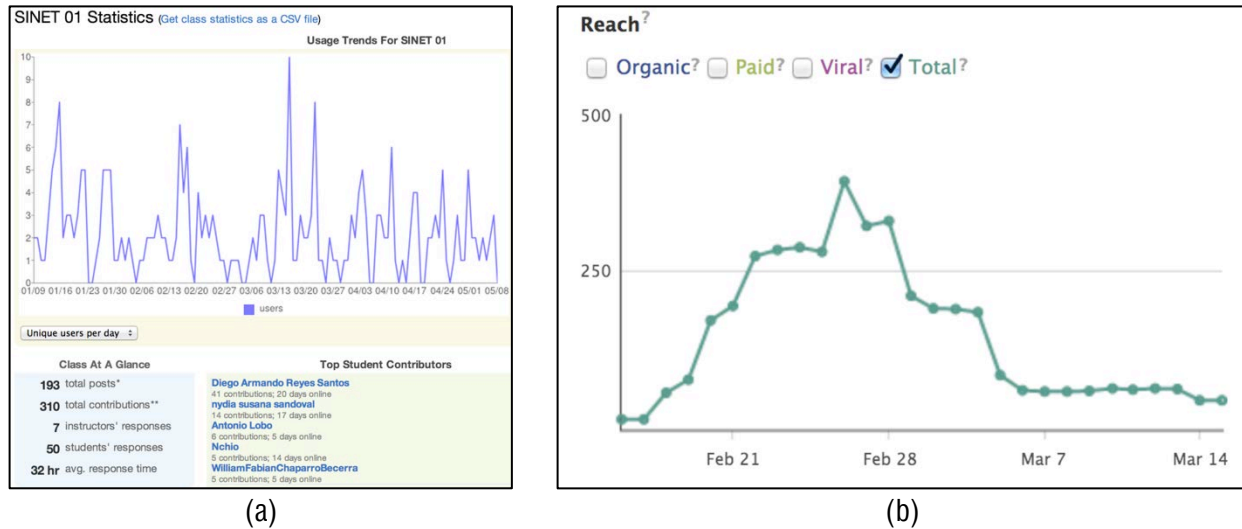


Figura 7. Estadísticas de participación del seminario a través de (a) Piazza y (b) Facebook

Utilizando la opción de estadísticas de páginas de *Facebook* se puede también establecer la cantidad de personas que reciben información sobre el seminario de investigación a través de la red social. Se puede observar en la Figura 7 (b) que para un seminario realizado el 22 de febrero de 2013, se publicó información que fue vista por 393 personas. Teniendo en cuenta que el seminario busca desarrollar capacidades científicas para innovación, es conveniente llegar a más personas que potencialmente puedan aprovechar los beneficios que brinda la plataforma NetFPGA.

5 Conclusiones

Es necesario desarrollar estrategias académicas que promuevan el desarrollo de capacidades para innovación. Estas estrategias deben contribuir al desarrollo del pensamiento crítico y al desarrollo de la creatividad. El uso de herramientas tecnológicas de colaboración facilita que los esfuerzos que se desarrollen en esta vía impacten a más personas. En el caso de redes de computadoras, la plataforma NetFPGA y la comunidad que se desarrolla alrededor de ella se convierten en oportunidad para que países latinoamericanos avancen de manera acelerada en la generación de nuevas estrategias de enseñanza e investigación que respondan a necesidades de los contextos en donde nacen.

6 Referencias

Artículos de revistas

- Gibb, G., Lockwood, J. W., Naous, J., Hartke, P., & McKeown, N. (2008). NetFPGA - An open platform for teaching how to build gigabit-rate network switches and routers. *IEEE Transactions on Education*, 51(3), 364-369. doi: 10.1109/te.2008.919664.

Memorias de congresos

- Naous, J., Gibb, G., Bolouki, S., & McKeown, N. (2008). NetFPGA: reusable router architecture for experimental research. Paper presented at the Proceedings of the ACM workshop on Programmable routers for extensible services of tomorrow, Seattle, WA, USA.

Fuentes electrónicas

- Dutta, S. (2012). The Global Innovation Index 2012: Stronger Innovation Linkages for Global Growth: INSEAD.

Sobre los autores

- **César D. Guerrero:** Ingeniero de Sistemas, Master en Ciencias Computacionales, Master en Ingeniería Computacional, Doctor en Ciencias de la Computación e Ingeniería de la Universidad del Sur de la Florida en Tampa, USA. Profesor titular. cguerrer@unab.edu.co
- **Manuel F. Jaimes:** Estudiante de sexto semestre de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Coordinador Semillero en Telemática SINET. mjaimes60@unab.edu.co
- **Yolanda Carreño:** Ingeniera Mecatrónica de Universidad Autónoma de Bucaramanga. Joven Investigador. ycarreno866@unab.edu.co
- **Antonio Lobo:** Ingeniero electrónico. Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. ajlobofi@uis.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)