

Plataforma NetFPGA para la clasificación de tráfico de red

D. T. Parra, J. A. Manrique, C. D. Guerrero y L. Calderón-Benavides

Abstract— Traffic classification is a technology that requires the implementation of specialized techniques in order to improve security, performance, priority and functionality of networks. With Internet growth, traffic classification has been subject of study over the last few years. This paper presents a review of techniques most used for traffic network classification. In addition, we present the NetFPGA card as an open platform for development of network devices that together with traffic classification techniques contribute to the improvement of network performance.

Keywords— Data Mining, NetFPGA, Traffic classification.

Resumen— La clasificación de tráfico es una tecnología que requiere la implementación de técnicas con el fin de mejorar la seguridad, el rendimiento, la prioridad y la funcionalidad de las redes. Con el crecimiento del internet, este tema ha sido objeto de estudio en los últimos años. Este artículo presenta una revisión de las técnicas más usadas para la clasificación de tráfico en las redes. Además, se presenta la tarjeta NetFPGA como una plataforma abierta para el desarrollo de dispositivos de red que junto a las técnicas de clasificación de tráfico contribuyen a la mejora del rendimiento de la red.

Palabras clave— Clasificación de Tráfico, NetFPGA, Minería de Datos.

I. INTRODUCCIÓN

LA expansión de Internet, el aumento masivo de usuarios y su interés por acceder a información actualizada; son algunas de las razones por las cuales se ha incrementado el tráfico en las redes. La cantidad, complejidad y variedad del tráfico que circula en Internet, surge principalmente de las aplicaciones que los usuarios utilizan a diario, a saber: Correo electrónico, llamadas de audio y video, descarga de contenidos, publicación de contenidos, juegos en línea, entre otros [1].

Las grandes cantidades de información que viajan a través de Internet, requieren de un tratamiento especial a nivel

software y hardware, que permitan mantener y/o mejorar el rendimiento de la red y la calidad del servicio proporcionado a los usuarios, para garantizar su oportuno acceso a la información requerida para el desarrollo de sus actividades cotidianas. La situación descrita anteriormente ha ocasionado desafíos en torno al desarrollo de arquitecturas, funcionalidad, seguridad, privacidad y el rendimiento de las redes [1].

A nivel de software con el fin de priorizar, proteger y disminuir el tiempo de respuesta para el acceso a la información disponible en Internet, desde hace más de dos décadas se vienen desarrollando tecnologías para la clasificación del tráfico de la red a nivel de paquetes. Las técnicas de clasificación de tráfico más usadas se enumeran a continuación: (i) Número de Puerto (*Port Number*) [2], (ii) Inspección Profunda del Paquete (*Deep Packet Inspection - DPI*) [3], (iii) Heurística (*Heuristic*) [4] y (iv) Minería de Datos (*Data Mining*) [5]. Estas técnicas se han ido perfeccionando con el paso del tiempo de acuerdo a las necesidades de la red [6]. Sin embargo, al mismo tiempo que se desarrollan estas técnicas de clasificación, el hardware debe presentar mejoras para lograr la clasificación de tráfico en línea [7].

Respecto al hardware, a nivel mundial existen fabricantes de dispositivos de red que lideran el mercado de las telecomunicaciones, tales como CISCO[8], 3COM[9] o JUNIPER[10]. Los productos ofrecidos por estas compañías son de alta calidad, pero a un precio considerablemente alto y de código cerrado. Por otra parte, existen plataformas abiertas como NetFPGA, que permiten el desarrollo de dispositivos de red tales como *switches* y *routers* de alto rendimiento [11], y a un precio inferior. Para el caso de NetFPGA, existe una comunidad a nivel mundial que contribuye en el desarrollo de la misma. La dinámica de la comunidad consiste en compartir los proyectos desarrollados (generados con las Tarjetas de 1G o 10G), los cuales son presentados en un *wiki*, en el Sitio Web netfpga.org.

El despliegue de Internet, la importancia del oportuno acceso a la información y su uso en los ámbitos académico, investigativo, laboral y personal principalmente; se hace necesaria la implementación de redes de alto rendimiento, calidad y bajo costo a nivel software y hardware que involucren técnicas de clasificación de tráfico y las características de una plataforma de código abierto como lo es NetFPGA. En este sentido, el presente artículo, hace una revisión de las técnicas más usadas para la clasificación de

D. T. Parra, Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Bucaramanga, Colombia, dparra486@unab.edu.co

J. A. Manrique, Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Bucaramanga, Colombia, jmanrique4@unab.edu.co

C. D. Guerrero, Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Bucaramanga, Colombia, cguerrer@unab.edu.co

L. Calderón-Benavides, Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Bucaramanga, Colombia, mcalderon@unab.edu.co

tráfico en redes telemáticas. Así mismo, se presenta una introducción sobre NetFPGA como plataforma abierta para la construcción de dispositivos de red y la experimentación en redes de computadoras. En la Sección II, se presentan cuatro técnicas para la clasificación del tráfico: (i) Número de Puerto (*Port Number*) [2], (ii) Inspección Profunda del Paquete (*Deep Packet Inspection - DPI*) [3], (iii) Heurística (*Heuristic*) [4] y; (iv) Minería de Datos (*Data Mining*). La Sección III, presenta la definición, características e investigaciones existentes sobre NetFPGA. La Sección IV hace referencia a la unión de las tecnologías Minería de Datos y NetFPGA enfatizado en la presentación de investigaciones halladas en la literatura que tratan la integración de las tecnologías mencionadas. Finalmente la Sección V, muestra las conclusiones de este artículo.

II. TÉCNICAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE TRÁFICO

La clasificación de tráfico es una tecnología que permite el diagnóstico, vigilancia y administración de redes. Además, controla el acceso dinámico, detección de intrusos y contribuye de forma permanente en las nuevas arquitecturas de las redes [1]. A continuación se describen las características más relevantes de las técnicas más referenciadas en la literatura.

A. Número de Puerto

Clasifica el flujo de información de acuerdo a su número de puerto. Sólo requiere acceso al encabezado del paquete que contiene el número. Esta es una técnica de clasificación simple y muy rápida cuando se requiere clasificar tráfico en línea [2]. Sin embargo, la desventaja más significativa que tiene esta técnica es que en la actualidad muchas de las aplicaciones que vienen por el protocolo File Transfer Protocol - FTP cambian su puerto dinámicamente con el fin de evadir la detección. Por otro lado, la llegada de la conexión inalámbrica excluyó esta técnica para la clasificación de tráfico [3].

B. Inspección profunda del Paquete

La inspección del contenido del paquete identifica las cadenas de bytes que están asociadas a una aplicación en particular [3]. Esta técnica de clasificación tiene una alta precisión de clasificación para el tráfico actual de las redes. Sin embargo, la desventaja más significativa que tiene esta técnica es que no ha sido aceptada en su totalidad porque tiene muchas limitaciones relacionadas con la clasificación de tráfico encriptado; el análisis para el contenido del paquete requiere buena capacidad de almacenamiento y rendimiento computacional; y, tiene restricción de acceso a los protocolos propietarios [12][2].

C. Heurística

La heurística se basa en la clasificación de tráfico a través

de un patrón de conexiones visualizadas en la capa de transporte de una red. Esta técnica de clasificación tiene como ventaja la alta precisión y la total independencia con el contenido del paquete. Sin embargo, la mayor desventaja es su incapacidad de clasificar tráfico en línea [4].

D. Minería de Datos

Es un proceso que consiste en el reconocimiento de patrones sobre un conjunto de datos para la búsqueda y/o clasificación. Existe una amplia variedad de algoritmos de minería de datos en campos como la estadística, reconocimiento de patrones, máquina de aprendizaje y las bases de datos [13].

Esta técnica de clasificación permite analizar el contenido del paquete sea o no encriptado, realiza clasificación en línea, puede analizar sólo un conjunto de datos para estimar los patrones de clasificación y no necesita conocer el número del puerto [5]. En los últimos años, se ha implementado algoritmos de aprendizaje no supervisado para la clasificación de tráfico [5], clasificación de flujo de tráfico IP [14], clasificación de tráfico encriptado para conexiones SSH y video llamadas vía Skype [15] e implementación de algoritmos de aprendizaje supervisado para la clasificación de tráfico en línea [16][3].

Con base en las ventajas y desventajas anteriormente descritas de cada una de las técnicas se muestra que la Minería de Datos es una de las técnicas para la clasificación de tráfico en las redes más completa, ya que ofrece una gran variedad de algoritmos que se pueden implementar de acuerdo a las necesidades de clasificación de la información. Una de las formas para optimizar los algoritmos de Minería de Datos que están a nivel software es a través de la implementación de una plataforma hardware como lo es NetFPGA, la cual se describe en detalle en la siguiente sección.

III. NETFPGA

La plataforma NetFPGA (de hardware y software abierto), creada por el grupo de *High-performance Networking* de la Universidad de Stanford en 2001, surge como una alternativa para el desarrollo de dispositivos de red que operan a altas velocidades, acelerados por hardware a un bajo coste [11]. Los primeros prototipos de la plataforma NetFPGA fueron usados en una clase de proyectos en nivel de posgrado en Stanford en 2003 [11].

NetFPGA es una tarjeta de red que contiene un FPGA (por sus siglas en inglés *Field Programmable Gate Array*) para el procesamiento de paquetes a través de cuatro puertos Gigabit Ethernet necesarias para construir NIC (por sus siglas en inglés, *Network Interface Card*) de cuatro puertos, un *switch*, un *router* o cualquier otro dispositivo de red con funcionalidades específicas programadas en la tarjeta.

La plataforma NetFPGA se caracteriza por tener interfaces modulares que permiten el desarrollo de diseños de hardware complejos, a través de la integración de bloques de construcción simples. La FPGA, es utilizada para implementar las funciones de procesamiento de datos básicos mientras que el software se ejecuta en un host conectado a los núcleos incrustados dentro del dispositivo de aplicación de las funciones de control [17].

A. Tarjetas NetFPGA

Actualmente, existen dos versiones de la tarjeta NetFPGA de 1Gbps y 10Gbps. Los dos diseños incluyen todos los recursos, lógica, memorias e interfaces Ethernet necesarios para el desarrollo de dispositivos de red y seguridad, soportan conexiones full-dúplex y son capaces de procesar cada paquete en pocos ciclos de reloj. La Figura 1 presenta la Tarjeta NetFPGA de 1G.



Fig. 1. NetFPGA 1G

Fuente: Online netfpga.org

La Tabla 1 presenta las características de las tarjetas NetFPGA de 1 Gbps y 10 Gbps: (i) Cantidad de puertos Ethernet; (ii) Memoria RAM; (iii) Interfaz y; (iv) Procesador.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS TARJETAS NETFPGA 1 GBPS Y 10 GBPS

Descripción	Tarjeta 1 Gbps	Tarjeta 10 Gbps
Puertos Ethernet	4 x 1 Gbps	4 x 10 Gbps
Memoria RAM	4.5 MB ZBT SRAM, 64 MB DDR ² SDRAM	27 MB QDRII-SRAM, 288 MB RLDRAM-II
Interfaz	PCI	PCI Express x8
Procesador	Virtex II-Pro 50	Virtex 5 TX240T

Fuente: netfpga.org

A nivel internacional, la plataforma NetFPGA cuenta con una comunidad de desarrolladores alrededor del mundo [18]. En este sentido, un usuario puede hacer uso de los diseños existentes, modificarlos o crear nuevos. En la página netfpga.org se encuentran disponibles los diseños de referencia, los cuales son el punto de partida para trabajar con la plataforma NetFPGA [18].

A continuación se describen trabajos derivados de las actividades de docencia e investigación realizados con la plataforma NetFPGA.

B. Trabajos Relacionados

Algunos autores han realizado revisiones de la literatura sobre NetFPGA y presentan el concepto, características y elementos que conforman la plataforma, así como las versiones existentes de la misma [11][18][19].

De igual modo, hay trabajos que presentan sistemas implementados en la NetFPGA, entre los que se pueden resaltar: Generador de paquetes y sistema de captura de tráfico de la red [20], Switch basado en NetFPGA [21], Sistema de detección de Intrusos en redes de computadores [16], *High Accuracy Timestamping System* (HATS) basado en NetFPGA [22] e implementación de un *OpenFlow Switch* sobre NetFPGA [23].

Luego de haber presentado en las Secciones II y III, las técnicas más usadas para la clasificación de tráfico y la plataforma NetFPGA respectivamente en la siguiente sección hace referencia al uso simultáneo de las dos tecnologías en redes de computadoras.

IV. MINERÍA DE DATOS Y NETFPGA

La integración de las tecnologías Minería de Datos y NetFPGA aplicadas en redes de computadoras, tiene como objetivo el aprovechamiento de las ventajas ofrecidas por tales tecnologías para la optimización del rendimiento de las redes que procesan grandes cantidades de información.

NetFPGA es una tarjeta de hardware y software abierto, lo que posibilita un prototipado rápido de dispositivos de red. Por su parte Minería de Datos tiene una falencia asociada al tiempo y complejidad que implica la obtención y pre-procesamiento de los datos, ya que, con frecuencia existe dificultad en la obtención y limpieza de los mismos. La colaboración entre Minería de Datos y NetFPGA, busca aprovechar la potencia de esta última para agilizar y optimizar procesos desde el nivel de red y llevar datos preseleccionados que la Minería de Datos pueda procesar y usar más rápidamente, lo cual puede generar un impacto positivo en los resultados y tiempos de respuesta de algoritmo de clasificación.

Pese al gran potencial que ofrecen estas técnicas, actualmente son muy pocos los trabajos reportados en la literatura. Existen dos proyectos de desarrollo sobre la NetFPGA basados en Minería de Datos como técnica para la clasificación de tráfico.

El primer proyecto fue desarrollado por investigadores de la *Universiti Teknologi Malaysia*². En su trabajo mencionan que la clasificación basada en el Número de Puerto no es fiable y la Inspección Profunda del Paquete no puede clasificar paquetes encriptados. Es por eso que muestran a la Minería de Datos como la técnica de clasificación más adecuada en términos de encriptación, privacidad y manejo de protocolos. Los investigadores proponen los Árboles de Decisión para la

² *Universiti Teknologi Malaysia*, <http://www.utm.my/>

clasificación de una amplia variedad de aplicaciones. Esta arquitectura es complemente parametrizable en términos de rendimiento, tamaño y número de características, profundidad del árbol y número de nodos requeridos en el mismo nivel. El diseño se implementa a nivel hardware de la FPGA afectando directamente la estructura de los módulos de referencia del “Pipeline”³[24].

Como resultados obtienen una fusión de nodos para disminuir la latencia, el costo del hardware y el uso de la memoria. Sin embargo, el ciclo del reloj que da el paso de un paquete al otro funciona a una velocidad de 67 MHz. Esto significa que el tiempo de respuesta es demorado [24].

Teniendo en cuenta este problema, los investigadores proponen la misma arquitectura de Minería de Datos pero implementando tres módulos principales que manejen el flujo de entrada/salida de las paquetes por los 4 puertos Ethernet que tiene la tarjeta a una velocidad de 8 Gbps sin tener pérdida de paquetes [25].

El segundo proyecto fue desarrollado por investigadores de la *University of Southern California*⁴. En este trabajo se mencionan algunas ventajas y desventajas de las cuatro técnicas de clasificación descritas en la Sección II. Sin embargo, seleccionan a la Minería de Datos como una técnica de alta precisión y robusta para la clasificación dinámica del tráfico actual en Internet. Los investigadores proponen el desarrollo de un clasificador en línea programable basado en Árboles de Decisión y el algoritmo Entropy-MDL para la discretización de los datos. Esta arquitectura de alto rendimiento adopta un diseño en la estructura de los módulos de referencia del “Pipeline” y hace uso de la RAM distribuida. Las pruebas las realizan sobre 8 aplicaciones con protocolos de red diferentes [6].

Como resultados se logra una precisión del 97.92% al momento de clasificar datos. Además, la herramienta genera automáticamente el código Verilog para la arquitectura del hardware [6].

V. CONCLUSIONES

NetFPGA es una tecnología que permite a los estudiantes e investigadores implementar diseños de red de acuerdo a sus necesidades, contribuyendo al desarrollo de sus habilidades investigativas. Por su parte, la Minería de Datos es una técnica de clasificación de tráfico que aborda gran cantidad de problemáticas presentadas en la red, de forma viable, eficiente, segura y rentable para el costo de hardware a nivel operacional.

La integración de estas tecnologías se convierte en una nueva oportunidad para el desarrollo de redes de

computadores con mayor capacidad de procesamiento y rendimiento. El trabajo en este tipo de redes, implica la realización de experimentos para conocer el rendimiento de la red bajo condiciones controladas.

Como trabajo futuro se estima el desarrollo de proyectos que integren la Minería de Datos como técnica de clasificación en la NetFPGA de forma efectiva y eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado por COLCIENCIAS en el marco de la convocatoria 617 del 2013 “Formación de alto nivel para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación – Programa: Joven Investigador”. Año 2014-2015.

REFERENCIAS

- [1] A. Dainotti, A. Pescapé, and K. Claffy, “Issues and Future Directions in Traffic Classification,” *Netw. Mag. Glob. Internetwkg.*, vol. 26, no. 1, pp. 35–40, 2012.
- [2] A. W. Moore and K. Papagiannaki, “Toward the Accurate Identification of Network Applications,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Passive and Active Network Measurement*, 2005, pp. 41–54.
- [3] K. Singh, S. Agrawal, and B. S. Sohi, “A Near Real-time IP Traffic Classification Using Machine Learning,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 5, 2013.
- [4] T. Karagiannis, K. Papagiannaki, and M. Faloutsos, “BLINC: Multilevel Traffic Classification in the Dark,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 35, no. 4, pp. 229–240, 2005.
- [5] S. Zander, T. Nguyen, and G. Armitage, “Automated Traffic Classification and Application Identification Using Machine Learning,” in *Proceedings of the The IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary*, 2005, pp. 250–257.
- [6] D. Tong, L. Sun, K. Matam, and V. Prasanna, “High throughput and programmable online trafficclassifier on FPGA,” in *ACM/SIGDA International Symposium on Field Programmable Gate Arrays - FPGA*, 2013, pp. 255–264.
- [7] P. Varga, I. Moldován, D. Horváth, and S. Plósz, “A Low Power, Programmable Networking Platform and Development Environment,” in *Advances in Network-Embedded Management and Applications SE - 2*, A. Clemm and R. Wolter, Eds. Springer US, 2011, pp. 19–36.
- [8] CISCO, “Cisco Systems, Inc,” 2014. [Online]. Available: <http://www.cisco.com>.
- [9] 3COM, “L-3 Communications,” 2014. [Online]. Available: <http://www.l-3com.com>. [Accessed: 24-Aug-13C].
- [10] JUNIPER, “Juniper Networks - Networks Security & Performance,” 2014. [Online]. Available: www.juniper.net. [Accessed: 24-Aug-13C].
- [11] G. Watson, N. McKeown, and M. Casado, “NetFPGA: A tool for network research and education,” in *2nd workshop on Architectural Research using FPGA Platforms (WARFP)*, 2006, vol. 3.
- [12] S. Sen, O. Spatscheck, and D. Wang, “Accurate, Scalable In-network Identification of P2P Traffic Using Application Signatures,” in *Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web*, 2004, pp. 512–521.
- [13] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, and P. Smyth, “The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data,” *Commun. ACM*, vol. 39, no. 11, pp. 27–34, 1996.
- [14] N. Williams, S. Zander, and G. Armitage, “A Preliminary Performance Comparison of Five Machine Learning Algorithms for Practical IP Traffic Flow Classification,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 36, no. 5, pp. 5–16, 2006.
- [15] R. Alshammari and A. N. Zincir-Heywood, “Machine Learning Based Encrypted Traffic Classification: Identifying SSH and Skype,” in *Proceedings of the Second IEEE International*

³ Es la arquitectura modular que maneja la NetFPGA para el proceso de paquetes [18].

⁴ University of Southern California, <http://www.usc.edu/>

Conference on Computational Intelligence for Security and Defense Applications, 2009, pp. 289–296.

- [16] Y. Wang and S. Yu, “Supervised learning real-time traffic classifiers,” *J. Networks*, vol. 4, no. 7, pp. 622–629, 2009.
- [17] G. Gibb, J. W. Lockwood, N. McKeown, P. Hartke, and J. Naous, “NetFPGA--An Open Platform for Gigabit-Rate Network Switching and Routing,” in *Microelectronic Systems Education, 2007. MSE '07. IEEE International Conference on*, 2007, pp. 160–161.
- [18] G. A. Covington, G. Gibb, J. Naous, J. W. Lockwood, and N. McKeown, “Encouraging reusable network hardware design,” in *Microelectronic Systems Education, 2009. MSE '09. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 29–32.
- [19] G. Antichi, S. Giordano, D. J. Miller, and A. W. Moore, “Enabling open-source high speed network monitoring on NetFPGA,” in *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE*, 2012, pp. 1029–1035.
- [20] G. A. Covington, G. Gibb, J. W. Lockwood, and N. McKeown, “A Packet Generator on the NetFPGA Platform,” in *Proceedings of the 2009 17th IEEE Symposium on Field Programmable Custom Computing Machines*, 2009, pp. 235–238.
- [21] N. Beheshti, J. Naous, Y. Ganjali, and N. McKeown, “Experimenting with Buffer Sizes in Routers,” in *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE Symposium on Architecture for Networking and Communications Systems*, 2007, pp. 41–42.
- [22] Z. Zhou, L. Cong, G. Lu, B. Deng, and X. Li, “HATS: High Accuracy Timestamping System Based on NetFPGA,” in *Proceedings of the 2010 International Conference on Advances in Computer Science and Information Technology*, 2010, pp. 183–195.
- [23] J. Naous, D. Erickson, G. A. Covington, G. Appenzeller, and N. McKeown, “Implementing an OpenFlow Switch on the NetFPGA Platform,” in *Proceedings of the 4th ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems*, 2008, pp. 1–9.
- [24] A. Monemi, R. Zarei, M. Marsono, and M. Khalil-Hani, “Parameterizable Decision Tree Classifier on NetFPGA,” in *Intelligent Informatics SE - 14*, vol. 182, A. Abraham and S. M. Thampi, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 119–128.
- [25] A. Monemi, R. Zarei, and M. N. Marsono, “Online NetFPGA decision tree statistical traffic classifier,” *Comput. Commun.*, vol. 36, no. 12, pp. 1329–1340, Jul. 2013.



Diana Teresa Parra Sánchez, Magíster en Telemática, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia. Ingeniera en telecomunicaciones, Universidad de Pamplona, Colombia. Joven Investigador, Grupo de Investigación en Tecnologías de Información - GTI, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia.



Johana Andrea Manrique Hernández, Ingeniera de Sistemas, Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB, Colombia. Joven Investigador, Grupo de Investigación en Tecnologías de Información - GTI, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia.



Cesar Darío Guerrero Santander, PhD. Computer Science and Engineering, y M.Sc., Computer Engineering, University of South Florida, USA; M.Sc., Ciencias Computacionales, ITESM, México y UNAB, Colombia; Ingeniero de sistemas, Universidad Industrial de Santander-UIS, Colombia. Docente titular y director del Proyecto de Articulación Red Universitaria Mutis. Investigador Asociado, Grupo de Investigación en Tecnologías de Información – GTI, Universidad Autónoma de Bucaramanga-UNAB, Colombia.



Maritza Liliana Calderón Benavides, PhD. Tecnologías de la información y las Comunicaciones y M.Sc., Ciencias Computacionales ITESM, México y UNAB, Colombia; Ingeniera de Sistemas, Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB, Colombia. Investigador Junior, Grupo de Investigación en Tecnologías de Información - GTI, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia.