

**Presentación**  
Presentation

**Editorial: Relación Universidad-Sociedad en Función del Desarrollo**  
Editorial: University and Society Relationships for Development s  
*Carlos Alberto Hernández-Medina*

**Carta Editorial: Un Nuevo Tiempo para Crecer y Desarrollarse**  
Editorial Text: New Times for Growth and Development  
*Miguel Ángel Zorrilla-Gascón*

**Carta Editorial: Administración Efectiva de Riesgos, una Práctica Útil a Todo Nivel**  
Editorial Text: Effective Risk Management, a Useful Practice at All Levels  
*Beatriz Elena López-Valencia*

**Paralelización del Algoritmo Criptográfico GOST Empleando el Paradigma de Memoria Compartida**  
GOST Cryptographic Algorithm Parallelization Using Shared Memory Paradigm  
*Marlis Fulgueira-Camilo*  
*Omar A. Hernández-Duany*  
*Venus Henry-Fuenteseca*

**Transformación del Q-Learning para el Aprendizaje en Agentes JADE**  
Q-Learning Transformation for Training on JADE Agents  
*Nayma Cepero-Pérez*  
*Mailyn Moreno-Espino*

**Simulación de un Robot Hexápodo Bioinspirado en el Tenebrio**  
Simulation of a Robot in Bio-Inspired Hexapod Tenebrio  
*Juan Pablo Rodríguez-Calderón*  
*María Fernanda Ramos-Parra*  
*Mauricio Vladimir Peña-Giraldo*

**Capacidad de Orquestación de Servicios Web en las Herramientas MULE ESB y Oracle Service Bus**  
Web Service Orchestration Capacity in MULE ESB and Oracle Service Bus Tools  
*Claudia Ivette Castro-Zamora*  
*Eva Flores-Valdés*

**Producción, Reservas y Sostenibilidad de la Energía en Venezuela**  
Production, Reserves and Sustainability of Energy in Venezuela  
*Juan Carlos Rojas-Zerpa*  
*José María Yusta-Loyo*

**Los Cursos Masivos en Línea en Coursera y su Empleo Potencial en los Programas de Ingeniería en América Latina**  
Massive Open Online Courses in Coursera and its Potencial Use in Latin-America for Engineering Programs  
*Rolando Aguilar*  
*Alejandro Rosete-Suárez*

**La Industria Química: Importancia y Retos**  
The Chemical Industry: Importance and Challenges  
*Nancy Montes-Valencia*



FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA



Facultad de  
Ingenierías



©Fundación Universitaria Luis Amigó

*Lámpsakos*

N°. 14, Julio-diciembre de 2015

**ISSN:** 2145-4086

**Rector**

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

**Vicerrectora de Investigaciones**

Isabel Cristina Puerta Lopera

**Director de Programa Ingeniería de Sistemas**

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

**Jefe Departamento de Fondo Editorial**

Carolina Orrego Moscoso

**Diagramación y diseño**

Arbey David Zuluaga Yarce

**Corrector de estilo**

Rodrigo Gómez Rojas

**Contacto editorial**

Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A #67 B 90. Medellín, Antioquia, Colombia.

Tel: (574) 448 76 66 (Ext. 9711. Departamento de Fondo Editorial).

[www.funlam.edu.co-fondoeditorial@funlam.edu.co](http://www.funlam.edu.co-fondoeditorial@funlam.edu.co)

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó.

Hecho en Colombia.

Financiación realizada por la Fundación Universitaria Luis Amigó.



Licencia Creative Commons Atribución- No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional.

# LÁMPSAKOS

## Director de la revista

Gabriel Jaime Correa Henao, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

## Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D. Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil

José María Yusta-Loyo, Ph.D. Universidad de Zaragoza (Unizar), España

Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D. Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina  
Bizuayehu Abebe-Worke, Ph.D. Universidade da Beira, Covilhã, Portugal

Aldo Pardo-García, Ph.D. Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

Yuri Ulianov-López, Ph.D. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

## Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D. Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

Giner Alor-Hernández, Ph.D. Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México

Óscar Sapena-Vercher, Ph.D. Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España

Amit Chaudhry, Ph.D. Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India

Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia

Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

Nourou Khalidou Dia, Ph.D., Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania

Henry Alonso-Colorado, Ph.D. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(c), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

## Comité de Árbitros de la Edición

César Alberto Collazos, Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Nourou Khalidou Dia, Ph.D., Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania

Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Popayán, Colombia.

Franklin Ferraro Gómez, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(c). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

Éder Acevedo-Marín, Ph.D(c). Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia

Juan Carlos Monsalve-López, Ph.D(c). I. E. Marco Tobón Mejía, Santa Rosa de Osos, Colombia.

Darío Enrique Soto-Durán, Ph.D(C). Tecnológico de Antioquia, Medellín, Colombia.

Walter Darién Gómez-Torres, MSc. Tecnológico de Antioquia. Medellín, Colombia.

Paola Andrea Noreña-Cardona, MSc. Tecnológico de Antioquia. Medellín, Colombia.

Álvaro Andrés Ramírez-Piñeros, MSc. ISAGEN S.A E.S.P. Medellín, Colombia

Lina María Montoya-Suárez, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

## Edición

Fundación Universitaria Luis Amigó.

## Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Antioquia, Colombia.

## Para sus contribuciones

[lampsakos@funlam.edu.co](mailto:lampsakos@funlam.edu.co)

<http://www.funlam.edu.co/lampsakos>

Facultad de Ingenierías. Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A # 67B - 90. Medellín, Antioquia, Colombia.

## CONTENIDO

### Presentación

**Editorial:** Relación Universidad-Sociedad en  
Función del Desarrollo ..... 10  
*Carlos Alberto Hernández-Medina*

**Carta Editorial:** Un Nuevo Tiempo para Crecer y  
Desarrollarse ..... 14  
*Miguel Ángel Zorrilla-Gascón*

**Carta Editorial:** Administración Efectiva de  
Riesgos, una Práctica Útil a Todo Nivel ..... 15  
*Beatriz Elena López-Valencia*

**Paralelización del Algoritmo Criptográfico  
GOST Empleando el Paradigma de Memoria  
Compartida ..... 18**  
*Marlis Fulgueira-Camilo*  
*Omar A. Hernández-Duany*  
*Venus Henry-Fuenteseca*

**Transformación del Q-Learning para el  
Aprendizaje en Agentes JADE ..... 25**  
*Nayma Cepero-Pérez*  
*Mailyn Moreno-Espino*

**Simulación de un Robot Hexápodo Bioinspirado  
en el Tenebrio ..... 33**  
*Juan Pablo Rodríguez-Calderón*  
*María Fernanda Ramos-Parra*  
*Mauricio Vladimir Peña-Giraldo*

## CONTENTS

### Presentation

**Editorial:** University and Society Relationships for  
Developments ..... 10  
*Carlos Alberto Hernández-Medina*

**Editorial Text:** New Times for Growth and  
Development ..... 14  
*Miguel Ángel Zorrilla-Gascón*

**Editorial Text:** Effective Risk Management, a  
Useful Practice at All Levels ..... 15  
*Beatriz Elena López-Valencia*

**GOST Cryptographic Algorithm Parallelization  
Using Shared Memory Paradigm ..... 18**  
*Marlis Fulgueira-Camilo*  
*Omar A. Hernández-Duany*  
*Venus Henry-Fuenteseca*

**Q-Learning Transformation for Training on  
JADE Agents ..... 25**  
*Nayma Cepero-Pérez*  
*Mailyn Moreno-Espino*

**Simulation of a Robot in Bio-Inspired Hexapod  
Tenebrio ..... 33**  
*Juan Pablo Rodríguez-Calderón*  
*María Fernanda Ramos-Parra*  
*Mauricio Vladimir Peña-Giraldo*

**Capacidad de Orquestación de Servicios Web en las Herramientas MULE ESB y Oracle Service Bus** ..... 40  
*Claudia Ivette Castro-Zamora*  
*Eva Flores-Valdés*

**Producción, Reservas y Sostenibilidad de la Energía en Venezuela** ..... 52  
*Juan Carlos Rojas-Zerpa*  
*José María Yusta-Loyo*

**Los Cursos Masivos en Línea en Coursera y su Empleo Potencial en los Programas de Ingeniería en América Latina** ..... 61  
*Rolando Aguilar*  
*Alejandro Rosete-Suárez*

**La Industria Química: Importancia y Retos** ..... 72  
*Nancy Montes-Valencia*

**Web Service Orchestration Capacity in MULE ESB and Oracle Service Bus Tools** ..... 40  
*Claudia Ivette Castro-Zamora*  
*Eva Flores-Valdés*

**Production, Reserves and Sustainability of Energy in Venezuela** ..... 52  
*Juan Carlos Rojas-Zerpa*  
*José María Yusta-Loyo*

**Massive Open Online Courses in Coursera and its Potencial Use in Latin-America for Engineering Programs** ..... 61  
*Rolando Aguilar*  
*Alejandro Rosete-Suárez*

**The Chemical Industry: Importance and Challenges** ..... 72  
*Nancy Montes-Valencia*

# PRESENTACIÓN

La revista *Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación *online* de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la inge-

nería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, sistemas de información, ingeniería de requerimientos, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, sistemas inteligentes, control, automatización y robótica, ciberseguridad, ingeniería ambiental, gestión de recursos hidráulicos, gestión del agua, eficiencia energética, simulación de sistemas, investigación de operaciones, gestión del conocimiento en ingeniería, educación en ingeniería, gerencia de proyectos, control de procesos, química, desarrollo de materiales, termodinámica, mercados de la energía, física, nanotecnología, estrategias de mantenimiento industrial, modelos computacionales, urbanismo y paisajismo arquitectónico.

# PRESENTATION

*Lámpsakos* journal is a publication ascribed to the Faculty of Engineering and Architecture of Fundación Universitaria Luis Amigó, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (issued in June and December) with national and international coverage. The journal is a free access online magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed

on engineering. The journal publishes papers of scientific, professional and technological fields such as Computer Science, Information Systems, Software Requirements, Electronics Engineering, Electrical Engineering, Intelligent Systems, Control, Automation and Robotics, Cyber Security, Environmental Engineering, Water Resources Management, Water Management, Energy Efficiency, System Simulation, Operations Research, Engineering Knowledge Management, Education, Engineering, Project Management, Process Control, Chemistry, Materials Development, Thermodynamics, Energy Markets, Physics, Nanotechnology, Industrial Maintenance Strategies, Computational Models, Urbanism and Architecture.

# ORIGINALIDAD Y DIVULGACIÓN DE ARTÍCULOS

## PAPER ORIGINALITY AND ARTICLE RELEASING

Los trabajos publicados en la revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento y podrá ser reproducida por cualquier medio, haciendo mención de la fuente.

El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía y autorizan a la revista y a la Institución para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico.

Los artículos son producto de un proceso de investigación de los autores y han sido valorados previamente por colegas expertos antes de ser presentados a publicación.

Las opiniones y afirmaciones que aparecen en la publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores y no comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la FUNLAM, la Facultad de Ingenierías y Arquitectura o la revista *Lámpsakos*.

All papers that are published on this media, must gather to Copyleft and Creative Commons policies, with no exceptions, since they belong to an open access academic journal. Contained information may be reproduced on any media by correctly citing the reference source.

The author or authors authorize the magazine and the Institution to edit and disseminate / publish the article by any media national and / or international, print or electronic.

Papers presented in the academic journal are mostly derived from research activities driven by their authors. They have been previously evaluated on a peer review process before concerning their publication. Each manuscript undergoes an originality evaluation before starting the peer-review process.

The opinions and affirmations accepted for publication reflect exclusively the points of view of their authors and do not necessarily compromise the policies and thinking of either Fundación Universitaria Luis Amigó, the Faculty of Engineering and Architecture or the journal "*Lámpsakos*".



# EDITORIAL

# Relación Universidad-Sociedad en Función del Desarrollo

## University and Society Relationships for Development

**Carlos Alberto Hernández-Medina, MSc**

*Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.*

*Villa Claram, Cuba.*

*cahm862@uclv.edu.cu*

(Recibido el 17-05-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

C. A. Hernández-Medina, "Editorial: Relación Universidad- Sociedad en Función del Desarrollo", Lámpsakos, N° 14, pp. 10-12, 2015

Actualmente los sistemas económico-sociales se soportan en las relaciones entre agentes y actores que los componen. La globalización de las actividades de agregación de valor y del comercio hace que la integración entre universidades, empresas y sociedad sean imprescindibles para que nuestros países latinoamericanos avancen por caminos de desarrollo sostenible. Las estrategias de desarrollo en nuestro subcontinente se han basado en una planificación centralizada regida desde los gobiernos cuyas políticas de innovación y económicas que demandaba economías de escala, con gran influencia de los modelos desarrollistas de la CEPAL y otros organismos internacionales. Estos paradigmas van siendo reemplazados gradualmente desde el enfoque redistributivo hasta fortalecer el desarrollo territorial lo que busca organizar entornos innovadores en cada

localidad basados en utilizar la innovación tecnológica y organizativa, o elementos de conocimiento para mejorar la calidad de vida local.

La toma de decisiones en función del desarrollo local está determinada por la organización de los procesos productivos y los vínculos e interacciones entre estos adquieren nuevo carácter e importancia. En nuestros países subdesarrollados esos vínculos son capaces de generar una vía alternativa al desarrollo. Las redes incorporan vínculos e interacciones a nivel local que propician economías exitosas y se sustentan en la información y conocimiento codificado que producen y la vinculación entre el conocimiento codificado y las competencias o conocimiento tácito encarnados en individuos y organizaciones. Eso permite captar el impulso productivo del conocimiento y plasmarlo en innovación y desarrollo. [1]

El proceso globalizador desarrolló las redes de conocimiento en países desarrollados a costa de nuestras economías, aumentando la brecha de conocimiento y tecnológica Norte-Sur y la única forma de reducirla es incrementando la generación de conocimiento y las actividades en red, dirigida a fortalecer las economías más pobres. La innovación busca nuevas fuentes de conocimiento y construye tecnologías para aplicarlas a productos, bienes y servicios. Es un proceso social que incluye a organizaciones e infraestructura como universidades y centros de investigación estrechamente unida a todo el tejido productivo y social.

Las redes engloban a organizaciones y personas comprometidas por diversos intereses, productores, laboratorios de investigación y desarrollo, bancos de inversión, instituciones educativas y organismos reguladores [2] en el proceso de innovación y difusión de conocimiento. Cuando su organización y conectividad son deficientes pueden inhibir la innovación y afectar seriamente el desarrollo territorial.

El conocimiento tácito y local tiene un papel esencial en estos procesos. Es un elemento público en potencia, por el conocimiento asequible que sólo en potencia está al alcance de quien lo procura al existir variadas formas de conceptualizarlo y codificarlo. Es elemento tácito por estar relacionado con aspectos del conocimiento y de la percepción intuitiva u otras aptitudes de los individuos, mal definidas, no codificadas que ni siquiera los individuos pueden expresar en su totalidad; aptitudes que difieren de una persona a otra, pero pueden ser compartidas entre colaboradores que llevan adelante una experiencia en común [3]. Es de gran importancia que este conocimiento resida en los individuos, organizaciones y redes.

Por tal razón, el desarrollo local necesita de una universidad fuerte, pertinente y activa y esta necesita de una vinculación excelente con su entorno. Eso complejiza la misión de la universidad y la obliga a integrarse con los actores locales para el desarrollo y a mediar el conocimiento científico que necesita el desarrollo local, haciéndolo democrático y sustentable. La relación universidad – desarrollo local debe contribuir a generar utopías, crítica epistemológica de verdades que justifican las políticas públicas, y estrategias de investigación, difusión y formación para formar actores sociales y políticos democráticos. La academia debe ser mediadora y productora de conocimientos, reglas y valores desde sus experiencias,

criterios y resultados. La localidad es su polígono de pruebas y allí el desarrollo pasa de ser abstracción a la práctica social que exige el trabajo conjunto con la sociedad y rearticulación del conocimiento científico como un todo. Jugará su papel si diagnostica la realidad local y puede transformarla en la dirección deseada por la sociedad como un actor más.

En consecuencia, el sistema universitario no puede dejar de hacer investigación para posibilitar el desarrollo local y del país. Una universidad que no investiga sólo puede transmitir conocimientos generados en relación con otras realidades. Si no genera conocimiento, no posee las claves para construir descripciones, diagnósticos y propuestas de acción [4]. Todos los modelos contemporáneos de relación universidad-sociedad se basan en la necesidad de trabajar en redes. Por tanto los universitarios, para cumplir su misión, necesitan realizar su trabajo en redes cuyos actores sean el gobierno local, los centros de investigación del territorio, bibliotecas y centros de información, empresas, representantes locales de ministerios como el Ministerio de Agricultura, organizaciones políticas, sociales y profesionales, movimientos sociales y ONG. Cada actor tiene diferente función dentro de la Red. [5]

La *Gestión del Conocimiento* en este contexto, consiste en identificar problemas locales que requieran del conocimiento para su solución e identificar organizaciones o personas que pueden aportarlo para construir los nexos, redes y flujos de conocimientos que permitan asimilar, evaluar, procesar y usar esos conocimientos. Existe un fuerte nexo entre innovación y aprendizaje por lo que para introducir un resultado científico antes hay que capacitar al personal que trabajará en el proceso [6]. Por tal razón, el rol de universidades y centros de investigación, como organismos públicos, es participar en las redes de gestión del conocimiento para la formación de recursos humanos y generación de conocimiento y el enfoque más específico de resolver problemas y atender a las necesidades sociales [7]

En resumen, la Gestión del Conocimiento que permiten evolucionar tal relación universidad-sociedad se constituyen por los siguientes pasos: a) Identificación de los actores, b) Construcción de redes, c) Construcción de la conectividad, d) Estimulación y organización de interacciones, e) Creación de capacidad de asimilar conocimientos y tecnologías, f) Armar “ciclos cerrados” a través de Dirección por Proyectos, g) Implementación de la “Capacitación para

toda la vida”, h) Seleccionar, capacitar y evaluar los cuadros; i) Construir infraestructura informática con conectividad y redes) y j) Construir y evaluar indicadores de desempeño [8]

Finalmente, en el contexto de una situación tan complicada y cambiante las Universidades y Centros de Investigación deben ponerse a tono con la vida económica, política y social del territorio para responder a sus crecientes exigencias, adecuando sus planes de estudio para formar los profesionales que necesita el desarrollo local y sus estrategias de innovación e investigación para responder a las problemáticas crecientes de la producción y los servicios demandados por la sociedad.

## REFERENCIAS

- [1] M. Cimoli & J. De la Mothe. “The Governance of Technology and Development”, en *Science, Technology and Governance*, J. De la Mothe (Ed.). Pinter Publisher: London, 2001.
- [2] T. Misa, “Constructive Technology Assessment: Cases. Concepts, Conceptualization”. Conference on Constructive Technology Assessment. Twente: The Netherlands, 1991.
- [3] M. Polany, *The Tacit Dimension*. New York: Doubleday Anchor, 1967. ISBN: 9780226672984
- [4] C. A. Hernández, R. Garcés & R. Orrantía, “Aplicación de Indicadores de Desarrollo Local y de Gestión Universitaria del Conocimiento en el Municipio de Camajuaní, Cuba”. Rev. GUCID, Año IV, no. 46, pp. 27-36, Jun. 2014. URL <https://casadelcientifico.wordpress.com/descargas/revista-digital-gucid/>
- [5] C. A. Hernández & K. Faye, “Papel de la gestión del conocimiento en la restauración del equilibrio ecológico en las cooperativas campesinas”. Rev. GUCID, Año II, no. 18, pp. 20-28, Feb. 2013. URL: <https://casadelcientifico.wordpress.com/descargas/revista-digital-gucid/>
- [6] J. Núñez, L. Montalvo & I. Pérez, “La gestión del Conocimiento, la Ciencia, la Tecnología y la Innovación en la Nueva Universidad: una aproximación conceptual”, en *La Nueva Universidad Cubana y su contribución a la universalización del conocimiento*. Editorial Félix Varela: Ciudad de La Habana, 2006.
- [7] C. De Fuentes & G. Dutrénit, “Best channels of academia–industry interaction for long-term benefit” in *Res. Policy*, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.026>.
- [8] A. Lage, “Desarrollo Local” en *Taller Nacional sobre Gestión del Conocimiento en la Nueva Universidad*, 27 de Junio al 1 de Julio. Ciudad de La Habana (Cuba), 2005.

## CARTAS AL EDITOR

# Carta Editorial: Un Nuevo Tiempo para Crecer y Desarrollarse

Editorial Text: New Times for Growth and Development

**Miguel Ángel Zorrilla-Gascón, Ing.**

*Urban Green Projects S.L*

*Valencia, España*

*miguelangelzorrillagascon@gmail.com*

(Recibido el 20-05-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

M.A. Zorrilla-Gascón, "Carta Editorial: Un Nuevo Tiempo para Crecer y Desarrollarse", Lámpsakos, N° 14, pp.14-14, 2015

Los acontecimientos ocurridos después del verano de 2.008 en EEUU, el denominado primer crack bursátil del siglo XXI, trajo tras de sí un cambio económico en todo el mundo. Países que hasta entonces lideraban la economía mundial, pasaron de crecer a tener que reforzar sus cimientos para no caer, y viceversa, países con un crecimiento hasta entonces moderado, se vieron reforzados por ser fuente de las nuevas inversiones mundiales. Esto último vino a tener mayor fuerza en aquellos países cuyo mapa político gozaba de una tranquilidad para que las inversiones extranjeras pudieran tener la suficiente confianza para llevarlas a cabo.

Entre esos países se encontraba Colombia. Tras muchos años en la sombra, Colombia se destapó como un país atractivo para invertir y sobre todo con una voluntad propia de crecer y desarrollarse.

Hemos sido muchas las personas que ya hemos visitado ese hermoso país. También hemos sido muchos técnicos e ingenieros los que hemos tenido la oportunidad de poder intercambiar conocimientos y experiencias con nuestros colegas colombianos.

Este intercambio llevado en la mayoría de las ocasiones desde el concepto negociador "Win to Win" (Ganar-Ganar), ha proporcionado que ambas partes hayan desarrollado positivamente sus conocimientos y por ende, su potencial. Un ejemplo muy cercano lo tenemos en el metro de Medellín, en la que téc-

nicos colombianos, españoles y alemanes, tuvieron la oportunidad de intercambiar sus conocimientos y ponerlos en común para llevar a buen fin una infraestructura modelo en el mundo. No sólo por la infraestructura en sí, sino también por la magnífica gestión social que se promueve en la misma, y que ha sido exportada a otros países.

Esta tendencia no es únicamente pasajera, es una tendencia actual y que va a tener su continuidad en los próximos años. La nueva economía sólo conoce la palabra "apertura" y ello significa oportunidades para todas las partes: para inversionistas, para consumidores, para profesionales de distintos sectores y por supuesto, para ingenieros como en nuestro caso.

Experiencia en infraestructuras, medios auxiliares ultra modernos, ingenierías de última generación en versión eficiencia energética, domótica, mezcladas con una experiencia intrínseca de una orografía muy peculiar del país, con un gran historial en el ámbito de la extracción de recursos naturales, y un largo etcétera, son algunas las posibilidades de este intercambio.

Y todo esto, sólo se puede llevar a cabo desde una apertura de miras, desde un espíritu de voluntad de crecer, desarrollarse y desde el concepto de que "yo gano y tú ganas". Sigamos creciendo todos y aprendiendo unos de otros para ser cada vez mejores.

# Carta Editorial: Administración Efectiva de Riesgos, una Práctica Útil a Todo Nivel

Editorial Text: Effective Risk Management, a Useful Practice at All Levels

**Beatriz Elena López-Valencia, MSc.**

*Interconexión Eléctrica S.A. (ISA)*

*Medellín, Colombia*

*belopezv@ISA.com.co*

(Recibido el 20-05-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

B. E. López-Valencia, "Carta Editorial: Administración Efectiva de Riesgos, una Práctica Útil a Todo Nivel", Lámpsakos, N° 14, pp. 15-16, 2015.

La administración de riesgos, entendida como una práctica que se enfoca principalmente en identificar, calificar, tratar y monitorear los riesgos a los que se encuentran expuestas las empresas, procesos, proyectos, actividades, etc., ha sido ampliamente utilizada en diferentes organizaciones alrededor del mundo y son reconocidos tanto los beneficios de implementar esta práctica de manera sistemática, como las pérdidas que han podido evitarse debido parcialmente a la anticipación que proporciona una efectiva administración de riesgos.

Existe un sinnúmero de metodologías, normas o estándares que proporcionan un esquema razonable para implementar un modelo de administración de riesgos; la mayoría de estos se enfocan en definir paso a paso el proceso que debe seguirse para:

- a. Establecer el entorno interno y externo que enmarca el análisis de riesgos a realizarse; en algunos casos este primer paso incluye una planificación y una serie de definiciones o declaraciones útiles para el resto del proceso;
- b. Identificar los riesgos, enfocándose en una caracterización que permita conocer las causas y consecuencias específicas sobre los objetivos o resultados esperados;
- c. Calificar los riesgos, estimando su probabilidad de ocurrencia y la magnitud de sus consecuencias, bien sea de manera cualitativa o cuantitativa y existen para esto a su vez, gran cantidad de técnicas que incluyen desde el juicio de expertos, hasta técnicas sofisticadas de modelamiento cuantitativo;
- d. Tratar los riesgos, lo cual en resumen se refiere a definir e implementar las acciones tendientes a disminuir la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias de los riesgos cuando estos tienen efectos negativos, o aumentarlas cuando tienen efectos positivos. Se incluyen en esta serie de acciones, todas las decisiones, planes, mecanismos para transferir o compartir los riesgos;
- e. Monitorear los riesgos, haciendo revisiones periódicas de las señales de alerta, analizando indicadores, evaluando posibles cambios en el estado de los riesgos, verificando la efectividad

y pertinencia de las acciones desarrolladas para gestionarlos, definiendo nuevas acciones e identificando nuevos riesgos, que de alguna manera cierren el proceso y den origen a un nuevo ciclo;

- f. Comunicar, divulgar, informar y hacer partícipes a todos los interesados de manera transversal a todo este proceso.

Es de suponer que como resultado de la implementación sistemática de las etapas mencionadas anteriormente, los riesgos queden debidamente administrados; adicionalmente, parece bastante fácil descrito así; sin embargo, caben las preguntas ¿por qué se siguen retrasando tantos proyectos?, ¿por qué se siguen incumpliendo tantos contratos?, ¿por qué se quiebran las compañías?, ¿realmente son situaciones totalmente inciertas o imprevisibles?, probablemente así lo es y con seguridad existen infinidad de situaciones incontrolables, pero la práctica de administración de riesgos puede ser muy útil y debería funcionar para todas aquellas condiciones que sí son previsibles y ayudar a que las situaciones se resuelvan antes de que se conviertan en un problema o, se aprovechen cuando todavía son una oportunidad. Suena bastante pretencioso, pero existen muchos casos que prueban, por ejemplo, como ante eventos catastróficos, las organizaciones que administran efectivamente sus riesgos han podido estar preparadas al haber evaluado previamente diferentes escenarios y haber definido planes que permitieron actuar asertivamente en este tipo de situaciones.

La principal bondad de esta práctica radica en ayudar a anticiparse y servir como soporte para la toma de decisiones; pudiendo ser útil a todo nivel, no solo el estratégico en grandes organizaciones, sino en todas las situaciones del mundo empresarial, académico e incluso en la vida cotidiana. Constantemente el ser humano se enfrenta a diferentes clases de riesgos; sería inadecuado permitir que se materialicen el mismo tipo de eventos y que una y otra vez se obtengan las mismas consecuencias negativas o se dejen de aprovechar las oportunidades.

Las etapas descritas en los párrafos anteriores, los cuales resumen el proceso de la administración de riesgos, bien pueden implementarse en cualquier organización, en diferentes tipos de contratos, convenios o acuerdos; en proyectos, procesos, actividades; en análisis estratégicos, económicos, sociales, políticos, ambientales, legales, etc.; sin importar qué metodología se elija, qué norma o estándar deba cumplirse, con qué profundidad se realice, lo más relevante es que pase de ser una foto que se toma en un momento específico del tiempo y que sea realmente cíclico y se realice de manera sistemática y periódica; para que permita tomar decisiones y emprender acciones de manera anticipada, maximizando las oportunidades y minimizando o evitando las pérdidas en una organización.



## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

# Paralelización del Algoritmo Criptográfico GOST Empleando el Paradigma de Memoria Compartida

## GOST Cryptographic Algorithm Parallelization Using Shared Memory Paradigm

**Marlis Fulgueira-Camilo, Ing.**

*Centro de Investigación Tecnológica Integrada  
La Habana, Cuba,  
mfulgueirac@citi.cu*

**Omar A. Hernández-Duany, MSc.**

*Centro de Investigación Tecnológica Integrada  
La Habana, Cuba,  
ohernandez@citi.cu*

**Venus Henry-Fuenteseca, Ing.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
La Habana, Cuba,  
vhenry@ceis.cujae.edu.cu*

(Recibido el 15-05-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

M. Fulgueira-Camilo, O. Hernández-Duany, V. Henry-Fuenteseca, "Paralelización del Algoritmo Criptográfico GOST Empleando el Paradigma de Memoria Compartida", Lámpsakos, N° 14, pp. 18-24, 2015.

**Resumen.** El artículo refiere el proceso de paralelización del algoritmo criptográfico GOST. La investigación realizada persigue como objetivo, reducir el tiempo de ejecución del algoritmo. El estudio no se encuentra enfocado al análisis de fortaleza del algoritmo criptográfico; donde se hace énfasis es en el método empleado para disminuir el tiempo de ejecución de los procesos cifre y descifre. Para ello se realiza un diseño paralelo basado en la metodología de Lan Foster, el cual es aplicado a dos implementaciones usando técnicas como: OpenMP y CUDA. Las comparaciones realizadas teniendo en cuenta, tanto al algoritmo secuencial como las implementaciones paralelas, demuestran una significativa reducción de tiempo, sin importar la técnica empleada. El mejor resultado se logra empleando CUDA.

**Palabras clave:** Computación Paralela y Distribuida; criptografía; CUDA; GOST

**Abstract.** The paper refers to the process of the cryptographic algorithm parallelization GOST. The aim pursued research, reduce the execution time of the algorithm. The study is not focused on the analysis of the strength of cryptographic algorithm, where the emphasis is on the method used is to reduce the execution time of the encrypt and decrypt processes. OpenMP, CUDA and OpenCL: To do a parallel design methodology based on lan Foster, which is applied to three implementations using techniques like is performed. Comparisons considering both the sequential and parallel implementations algorithm, demonstrate a significant reduction of time, regardless of the technique used. The best result is achieved using CUDA.

**Keywords:** Cryptographic, CUDA, GOST, Parallel and Distributed Computation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un algoritmo criptográfico se caracteriza por convertir un texto claro, en otro, llamado texto cifrado. El contenido de la información es igual al anterior pero solo puede ser entendido por la persona autorizada[1]. Los canales de comunicación se suponen inseguros cuando se desea enviar información confidencial a través de estos, en cuyos casos se requiere cifrar el mensaje. El presente trabajo se enfoca en la reducción del tiempo de ejecución de la implementación del algoritmo criptográfico GOST (Estándar Gubernamental de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas). Los detalles del algoritmo fueron publicados en 1990 bajo el nombre de Estándar Soviético (GOST 28147-89). El estándar provee un nivel de seguridad flexible y puede ser empleado para proteger información en sistemas de cómputo y en redes de computadoras [2, 3].

La investigación tiene como propósito introducir técnicas de programación paralela que permitan mejorar el rendimiento del algoritmo en cuanto a su tiempo de ejecución. La versión paralela del algoritmo, se empleará para proteger la información que se envíe por un canal de comunicación. Es necesario destacar que los flujos de datos en los procesos de las redes, son crecientes con una tasa de transferencia elevada. La información que se transfiera por la red debe cifrarse en tiempo real y para lograr esto se hace necesario reducir el tiempo de ejecución del algoritmo.

Para darle cumplimiento al objetivo principal de este trabajo se requiere comprender el algoritmo criptográfico GOST asimilando conceptos criptográficos relacionados con las técnicas empleadas en él, diseñar e implementar el algoritmo empleando técnicas de programación paralela y validar la solución paralela implementada.

## 2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

### 2.1. Descripción del algoritmo GOST

La criptografía se puede clasificar en dos grandes grupos, dependiendo del tipo de llave empleada: criptografía simétrica y asimétrica. La criptografía simétrica se refiere al conjunto de métodos que permiten tener comunicación segura siempre y cuando,

anteriormente, hayan intercambiado la llave. La simetría implica que se emplea la misma llave  $k$  para cifrar como para descifrar [1, 4].

El GOST es un algoritmo simétrico de cifrado por bloques que emplea una llave de 256 bits, el cual contiene una red Feistel, con 32 iteraciones. Cada iteración contiene una llave de adición módulo de  $2^{32}$ , un conjunto de 8 S-box de 4 bits, y una rotación simple de 11 posiciones. Una particularidad del GOST es que sus S-Cajas pueden ser secretas y pueden ser usadas continuamente como una llave secundaria, la cual es común a cada aplicación; de esta forma el tamaño de la llave se extendería a un total de 610 bits [2, 3].

En el estándar [3] se especifican 4 modos en los que el criptosistema puede trabajar, en este trabajo se emplea el modo de sustitución simple. La Fig. 1 explica el funcionamiento del algoritmo, la que se detalla a continuación:

El modo empleado plantea dividir el texto plano a cifrar en bloques de 64 bits. Cada bloque es copiado en los registros  $R_1$  y  $R_2$ . La llave  $K$  de 256 bits es dividida en 8 fragmentos de 32 bits y es almacenada en el KSU (unidad de almacenamiento de llaves). El cifrado consiste en 32 iteraciones. La primera iteración se caracteriza por el valor inicial de registro  $R_1$  que es adicionado al primer fragmento de la llave. El resultado de esta operación es dividido en 8 pedazos de 4 bits y enviado a cada una de las S-Cajas (el bloque  $S$ ). Luego se hace una rotación de 11 bits a la izquierda. El contenido de  $R$  es adicionado al contenido de  $R_2$  y almacenado en  $R_1$  y el valor anterior de  $R_1$  es almacenado en  $R_2$  [3].

Las siguientes iteraciones son similares a la primera, la diferencia radica en el orden en el cual son usadas las llaves. En la segunda iteración, se usa la llave parcial  $K_1$  del KSU. A las iteraciones 3, 4, 5, 6, 7, 8, se les aplica las llaves parciales  $K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$  respectivamente. Las iteraciones desde la 9 a la 16 y desde la 17 a la 24 usan las mismas llaves parciales. Las iteraciones desde la 25 a la 32, aplican las llaves parciales en orden inverso, o sea, la iteración 25 usa la llave  $K_7$ , la iteración 26 usa la llave  $K_6$  y así sucesivamente [3].

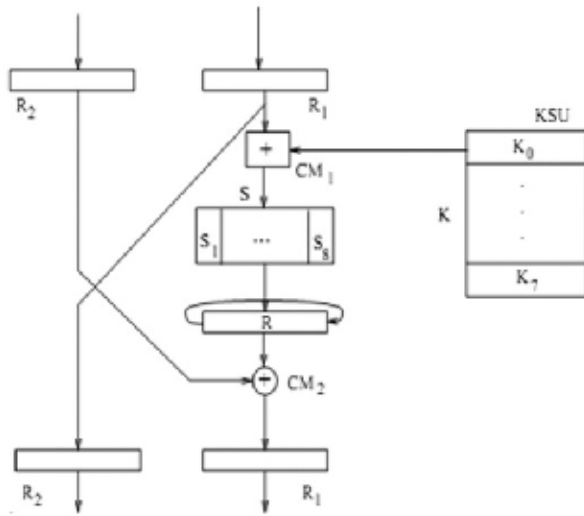


Fig. 1. Funcionamiento del algoritmo GOST

## 2.2. Análisis y diseño paralelo del algoritmo

La sección anterior caracterizó el funcionamiento del algoritmo GOST. En esta, se realiza un análisis del código implementado con el objetivo de identificar la región de código caliente o región a paralelizar. Se cuenta con una implementación en C/C++ que sigue el modelo mostrado en la Fig. 1.

Se realizan varias ejecuciones del algoritmo dividido por secciones para determinar la región de mayor procesamiento.

La Fig. 2 muestra los tiempos obtenidos para diferentes tamaños de ficheros en una arquitectura i7 920. Las pruebas demuestran que el tiempo de ejecución depende del tamaño de los datos cifrar/descifrar.

Las secciones analizadas son: Creación de las S-Cajas y Proceso de Cifre/Descifre. El cifrado y descifrado de un fichero de 750 MB se demora 24 segundos, lo que representa un 70 % del tiempo total del algoritmo.

Dentro del proceso de cifre y descifre se encuentran las 32 iteraciones que se realizan a cada bloque de 64 bits que a su vez contiene la rotación de las 11 posiciones, por lo cual se decide como región a paralelizar el proceso de cifre/descifre de los datos.

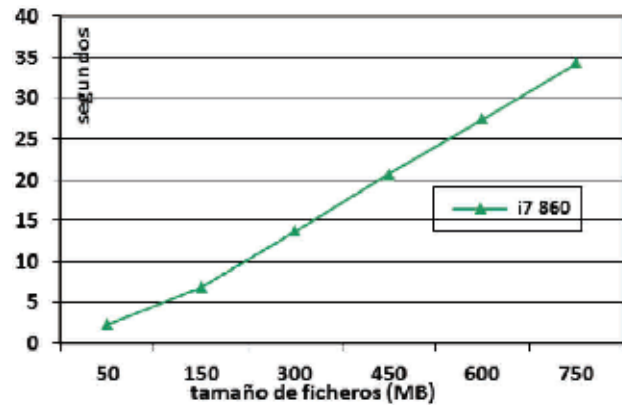


Fig. 2. Tiempo de ejecución del algoritmo con ficheros de diferentes tamaños

El diseño que a continuación se propone hace uso de la metodología de Lan Foster [5]. Esta metodología permite que el programador se concentre primero en la concurrencia y la escalabilidad y después se enfoca en los otros aspectos como son la localidad y el rendimiento. La metodología se divide en 4 etapas. La primera es el particionado, que plantea dividir el problema en tareas más pequeñas. En esta etapa suele ignorarse el número de procesadores disponibles en la arquitectura. Existen 2 formas de particionar un algoritmo, una es la descomposición de dominio y la otra es descomposición funcional. La descomposición de dominio implica dividir los datos en tantas partes como sea posible y la descomposición funcional plantea dividir el algoritmo en funciones que puedan realizarse concurrentemente. La segunda etapa es la comunicación, la cual se enfoca en el flujo de información y coordinación entre las tareas que son creadas durante la etapa del particionado. La tercera etapa es la de agrupación, en la cual la tarea y la estructura de la comunicación son divididas primeramente en dos etapas de diseño y evaluadas respecto de los requerimientos de ejecución y el costo de implementación. Si es necesario, las tareas son combinadas en tareas más grandes para mejorar el rendimiento o reducir los costos del desarrollo. La última etapa es el mapeo, donde cada tarea es asignada a un procesador de forma tal que se maximice el uso de la mayoría de los procesadores y se minimice el costo de las comunicaciones. El mapeo puede ser específicamente estático o determinado en tiempo de ejecución, buscando el balanceo de carga de los algoritmos [5]. Por tanto se propone:

- 1- Emplear particionado de dominio, pues no existen funciones que puedan realizarse paralelamente, debido a que el cifrado/descifrado de un bloque es intrínsecamente secuencial. Se necesita crear primero las S-Cajas, luego dividir el bloque a la mitad y cifrarlo con cada porción de la llave correspondiente. La Fig. 1 explica el funcionamiento del algoritmo para un bloque de 64 bits, por lo cual se decide dividir el texto a cifrar/descifrar en bloques de 64 bits como plantea el GOST.
- 2- Cada bloque de 64 bits puede ser cifrado/descifrado sin depender del siguiente bloque, por lo que la fase de comunicación queda exenta.
- 3- Realizar grupos en dependencia de la cantidad de hilos que contenga la arquitectura donde se ejecute el algoritmo.
- 4- Asignar a los grupos creados los hilos de ejecución de forma dinámica, buscando que todos los hilos tengan la misma cantidad de trabajo.

El diseño realizado es aplicado a dos implementaciones empleando el paradigma de memoria compartida, los cuales son: OpenMP y CUDA.

OpenMP es una API para la programación de aplicaciones paralelas. Está conformado por tres elementos principales: directivas de compilación, librerías de rutinas en tiempo de ejecución y variables de entorno. Se basa en el modelo Fork-Join, donde la tarea es dividida entre el hilo máster y un número de hilos esclavos. Los hilos se ejecutan al mismo tiempo y se distribuyen entre los diferentes procesadores [6-8].

CUDA es un lenguaje orientado a C++ propuesto por NVIDIA para la programación y manejo de operaciones e instrucciones sobre una tarjeta gráfica (GPU). Las GPUs, a partir de la serie G8X de NVIDIA, GeForce, Quadro y la línea Tesla son compatibles con CUDA. La arquitectura de CUDA se descompone de manera jerárquica en varias capas: driver del hardware, una API y su runtime, y dos librerías matemáticas de alto nivel de uso común como son CUFFT y CUBLAS. La API es una extensión del lenguaje de programación C y aporta un compilador que redirige la parte que no se ejecuta en la GPU al compilador por defecto del sistema [9-11].

La diferencia fundamental entre los paradigmas descritos se basa en el dispositivo que pueden explotar. OpenMP solo puede emplear la CPU; CUDA es para tarjetas gráficas, pero solo de la compañía NVIDIA [9]. Cada uno de estos añade porciones de códigos

a la implementación original. OpenMP es el menos complejo teniendo en cuenta que solo se le adiciona a las secciones a paralelizar los *pragmas*. Los pragmas son sentencias especiales que le indican al compilador que el siguiente código se ejecutará en paralelo [8]. Las tarjetas gráficas cuentan con su propia memoria, por lo que CUDA requiere enviar los datos hacia la GPU, calcular el resultado y enviar el resultado a la memoria RAM [11]. Todas estas características añaden un tiempo adicional; el objetivo fundamental es identificar el paradigma que logre disminuir más el tiempo de ejecución.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El acápite presenta la validación de la solución propuesta. Para ello se hace uso de las métricas para evaluar los algoritmos paralelos y se desarrolla una serie de pruebas comparativas. El objetivo de esta sección es comprobar que el tiempo de ejecución del algoritmo implementado disminuye respecto a su versión secuencial e identificar cuál es la técnica de programación paralela que logra reducir más el tiempo logrado con el algoritmo secuencial.

#### 3.1. Aceleración

El primer criterio tomado en cuenta en la ejecución de un programa paralelo es analizar la aceleración (Speed Up) obtenida. La aceleración es una medida que indica cuántas veces es más rápido el programa paralelo comparado con el programa secuencial.

La fórmula de la aceleración es la que se expone a continuación [12]:

$$S = \frac{T_s}{T_p}$$

Donde  $T_s$  es el tiempo de ejecución secuencial y  $T_p$  es el tiempo de ejecución paralelo.

#### 3.2. Eficiencia

La eficiencia paralela es una medida que denota qué tan bien se han utilizado los procesadores, o sea, es la fracción de tiempo que los procesadores emplean para realizar las tareas asignadas. No depende del tamaño del problema [12].

**Tabla 1.** Características del hardware empleado

Hardware	Tipo	Memoria					Ancho de Bus (bits)	Ancho de banda (GB/s)
		Elemento de Cómputo	Reloj (MHZ)	Tipo	Cantidad (MB)	Reloj (MHz)		
Intel Core 2 Duo E7300	CPU	2	2600	DDR2	2048	800	64	12.4
Intel Core 2 Quad Q9300	CPU	4	2500	DDR2	4096	800	64	12.4
Intel Core i7 920	CPU	8	2670	DDR3	6144	1066	64	25.5
nVidia Geforce GTX 260	GPU	216	1242	DDR3	896	1998	448	111.9
nVidia Geforce GTX 550 Ti	GPU	192	1800	DDR5	1024	4104	192	98.5
nVidia Geforce GTX 660	GPU	960	980	DDR5	2048	3004	192	144

**Tabla 2.** Tiempos obtenidos (segundos) con las implementaciones Secuencial (Sec), OpenMP y CUDA para cada una de las Arquitecturas (Arq) de pruebas con ficheros de distintos tamaños

	50 MB	150 MB	300 MB	450 MB	600 MB	750 MB
Arq 1 Sec	2.50	7.47	14.96	22.43	29.85	37.39
Arq 2 Sec	2.65	7.94	15.88	23.83	31.78	39.70
Arq 3 Sec	2.29	6.88	13.74	20.66	27.44	34.32
Arq 1 OpenMP	1.25	3.76	7.50	11.23	14.96	18.72
Arq 2 OpenMP	0.66	1.99	3.99	6.00	7.69	9.97
Arq 3 OpenMP	0.45	1.33	2.65	4.11	5.31	6.66
Arq 1 CUDA	0.08	0.24	0.48	0.73	0.93	1.09
Arq 2 CUDA	0.28	0.83	1.47	1.62	1.76	1.95
Arq 3 CUDA	0.07	0.22	0.42	0.65	0.84	0.94

Se puede definir la Eficiencia como:

$$E = \frac{T_s}{P \times T_p}$$

Dónde  $T_s$  es el tiempo de ejecución secuencial,  $T_p$  es el tiempo de ejecución paralelo y  $P$  número de procesadores empleados.

El valor máximo teórico de esta ecuación es 1.

### 3.3. Escenarios de Prueba

La validación de los resultados se realiza teniendo en cuenta las métricas descritas y varios escenarios de pruebas, los cuales se detallan a continuación:

Arquitectura 1: Intel Core 2 Duo y una tarjeta de video nVidia Geforce GTX 550 Ti.

Arquitectura 2: Intel Core 2 Quad y una tarjeta de video nVidia Geforce GTX 260.

Arquitectura 3: Intel Core i7 920 y una tarjeta de video nVidia Geforce GTX 660.

Las características más significativas de las arquitecturas descritas se especifican en la tabla 1.

Las pruebas se realizaron con cinco ficheros con tamaños 50, 150, 300, 450, 600 y 750 MB respectivamente. El tiempo de ejecución que se grafica en cada figura es el promedio de un total de 15 iteraciones del algoritmo en cada arquitectura descrita. El sistema operativo donde se ejecutaron las pruebas fue Centos 6.4. Los resultados obtenidos con las implementaciones paralelas son los mismos que se logran con la implementación secuencial.

El siguiente experimento se realiza con las tres arquitecturas de prueba. Los tiempos que se muestran son los obtenidos con las tres implementaciones.

La tabla 2 muestra que los mejores tiempos de ejecución se logran con la implementación realizada en CUDA.

A continuación se realiza un análisis teniendo en cuenta el *speed-up* y la eficiencia alcanzada para cada arquitectura de prueba.



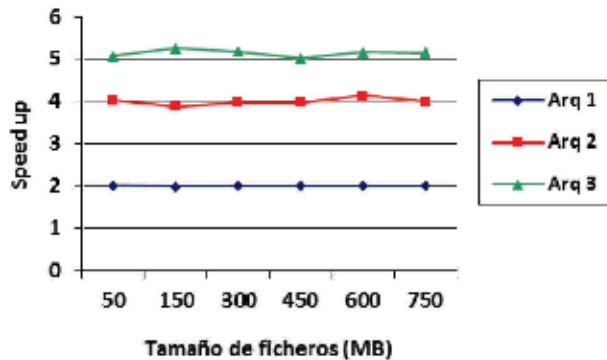


Fig. 3. Speed up obtenido con la implementación OpenMP para las tres arquitecturas de prueba

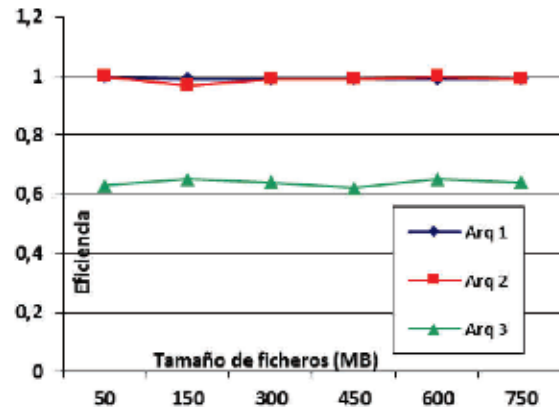


Fig. 5. Eficiencia obtenida con la implementación OpenMP en cada arquitectura de prueba

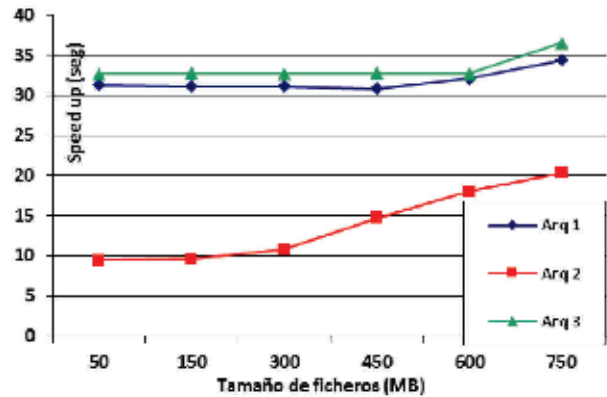


Fig. 4. Speed up obtenido con la implementación CUDA para las tres arquitecturas de prueba

La Fig. 3 muestra que la ganancia de velocidad se mantiene constante respecto a la obtenida de forma secuencial, aunque la mayor ganancia se logra con la arquitectura 3.

La Fig. 4 muestra para la arquitectura 1 y 2 una ganancia de velocidad constante respecto a la obtenida de forma secuencial con cada uno de los ficheros, aunque para la arquitectura 1, a partir de ficheros con 450 MB el speed up comienza a crecer en 2 unidades más de lo esperado. La arquitectura 3 tiene un comportamiento similar al descrito para la arquitectura 2, pero para ficheros mayores de 450 MB. El comportamiento del algoritmo para la arquitectura 2 sí crece de forma exponencial respecto al obtenido con el algoritmo secuencial. La arquitectura que logra obtener el mejor speed up es la 3.

La Fig. 5 muestra que los procesadores de las arquitecturas 1 y 2 se emplean eficientemente aproximadamente un 99 %, en cambio en la arquitectura 3 solo se logra emplear eficientemente un 64 %.

#### 4. CONCLUSIONES

El artículo presenta dos implementaciones paralelas empleando OpenMP y CUDA. Ambas implementaciones logran reducir el tiempo de la ejecución secuencial, pero los mejores tiempos se logran con CUDA, específicamente con la tarjeta 660 GTX de la arquitectura de prueba 3. El proceso de cifre y descifre para esta arquitectura se realiza en 0.94 segundos para un fichero de 750 MB, lo que significa que el algoritmo paralelo con CUDA es aproximadamente 37 veces más rápido que el tiempo secuencial. Se recomienda implementar el algoritmo empleando OpenCL y comparar los tiempos obtenidos para CPU con OpenMP y para GPU con CUDA.

#### REFERENCIAS

[1] H. C. Van Tilborg & S. Jajodia, *Encyclopedia of cryptography and security*. Springer Science & Business Media, 2011. 1416p. ISBN 978-1-4419-5907-2

[2] N. T. Courtois, "Security Evaluation of GOST 28147-89 In View Of International Standardisation," *Cryptologia*, Vol. 36, no. 1, 2012, pp. 2-13. DOI:10.1080/01611194.2011.632807

- [3] J. Pieprzyk & L. Tombak, “*Soviet Encryption Algorithm*”, University of Wollongong, Department of Computing Science, 1994.
- [4] N. Ferguson, B. Schneier, T. Kohno, “*Cryptography engineering: design principles and practical applications*”, John Wiley & Sons, 2011, 384p. ISBN: 978-0-470-47424-2
- [5] I. Foster, “Designing and building parallel programs,” Addison Wesley Publishing Company, 1995, 430p. ISBN: 978-0201575941
- [6] OpenMP, “The OpenMP API specification for parallel programming,” 2010 URL <http://openmp.org>.
- [7] OpenMP, A. R. Board, “OpenMP Application Program Interface 3.0”, 2008. URL: <http://www.openmp.org/mp-documents/spec30.pdf>
- [8] R. Chandra, “Parallel programming in OpenMP” en *Morgan Kaufmann Publishers Inc*, 2001, 248p. ISBN: 978-1558606715
- [9] N. Wilt, “CUDA Handbook: A Comprehensive Guide to GPU Programming”, 1st ed. Addison-Wesley Professional, 2013, 528p. ISBN: 978-0321809469
- [10] S. Cook, “CUDA programming: a developer’s guide to parallel computing with GPUs”, Newnes, 2012, 576p. ISBN: 978-0124159334
- [11] J. Sanders & E. Kandrot, “CUDA by example: an introduction to general-purpose GPU programming”, Addison-Wesley Professional, 2010, 312p. ISBN: 978-0131387683
- [12] A. Grama, A. Gupta, G. Karyspis, V. Kumar, “Introduction to Parallel Computing”, 2nd ed. Addison Wesley, 2003, 656p. ISBN: 978-0201648652



# Transformación del Q-Learning para el Aprendizaje en Agentes JADE

## Q-Learning Transformation for Training on JADE Agents

**Nayma Cepero-Pérez, Ing.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
(Cujae)  
La Habana, Cuba  
ncepero@ceis.cujae.edu.*

**Mailyn Moreno-Espino, PhD.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
(Cujae)  
La Habana, Cuba  
my@ceis.cujae.edu.*

(Recibido el 10-04-2015. Aprobado el 10-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

N. Cepero-Pérez, M. Moreno-Espino, "Transformación del Q-Learning para el Aprendizaje en Agentes JADE", Lámpsakos, N°. 14, pp. 25-32, 2015

**Resumen.** El aumento de la interacción entre los sistemas informáticos ha modificado la forma tradicional de analizarlos y desarrollarlos. La necesidad de la interacción entre los componentes del sistema es cada vez más importante para poder resolver tareas conjuntas, que de forma individual serían muy costosas o incluso imposibles de desarrollar. Los sistemas multi-agente ofrecen una arquitectura interesante y completa para ejecutar tareas distribuidas que cooperan entre sí. La creación de un sistema multi-agente o un agente requiere de gran esfuerzo, por lo que se han adoptado métodos como los patrones de implementación. El patrón Proactive Observer\_JADE permite crear los agentes e incluirle en cada uno comportamientos dotados de inteligencia que pueden evolucionar utilizando técnicas de aprendizaje automático. El aprendizaje por refuerzo es una técnica del aprendizaje automático que permite a los agentes aprender a través de interacciones de prueba y error, en un ambiente dinámico. El aprendizaje por refuerzo en sistemas multi-agente ofrece nuevos retos derivados de la distribución del aprendizaje, como pueden ser la necesidad de la coordinación entre agentes o la distribución del conocimiento, que deben ser analizados y tratados.

**Palabras clave:** agentes, aprendizaje reforzado, JADE, patrones de implementación.

**Abstract.** Increased interaction between computer systems has modified the traditional way to analyze and develop them. The need for interaction between the system components is increasingly important to solve joint tasks, which individually would be very expensive or even impossible to develop once. Multi-agent systems offer an interesting and complete distributed architecture to execute tasks cooperate. The creation of a multi-agent system or an agent requires great effort so methods have been adopted as the deployment patterns. The pattern creates Proactive Observer\_JADE agents and include in each endowed with intelligence behaviors can evolve using machine learning techniques. The reinforcement learning is a machine learning technique that allows agents to learn through trial and error interactions in a dynamic environment. Reinforcement learning in multi-agent systems offers new challenges arising from the distribution of learning, such as the need for coordination between agents or distribution of knowledge, which should be analyzed and treated.

**Keywords:** agents, reinforced learning, JADE, patterns implementation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El avance alcanzado en la tecnología y las comunicaciones en el mundo actual, han propiciado que se dediquen grandes esfuerzos orientados hacia la simulación del pensamiento humano. En este empeño una de las ciencias que más se destaca es la Inteligencia Artificial (IA).

De los estudios desarrollados por la IA y como parte de la evolución de la ingeniería de software surgió un novedoso campo de investigación y desarrollo: los agentes. Los agentes han sido el tema de intensas investigaciones durante años, constituyendo uno de los enfoques computacionales más prometedores para abordar cuestiones que requieren un modelado flexible, abstracto y un razonamiento elevado [1].

Cuando se comenzó a trabajar el tema de agentes, la meta fundamental fue crear lenguajes y protocolos para que los agentes inteligentes compartieran conocimiento. En este ámbito era común que se trataran a los agente como entes con características que usualmente se aplican en los seres humanos, ya que se pretende que los agentes imiten su comportamiento [2].

El paradigma de agente ha encontrado aceptación en diferentes áreas como las tecnologías de la información, incluyendo las Redes de Computadoras, Ingeniería de Software, Programación orientada a objetos, Inteligencia Artificial, entre otros. Aunque no existe un concepto en cuanto a qué es un agente, muchos autores han hecho sus definiciones. Un intento de ello y con el objetivo de unificar los esfuerzos para el desarrollo de las tecnologías para agentes inteligentes puede encontrarse en la Fundación para Agentes Inteligentes Físicos (FIPA).

FIPA es una organización internacional que se dedica a promover la industria de los agentes inteligentes desarrollando abiertamente especificaciones que soporten la interoperabilidad entre los agentes [3].

Los agentes con su habilidad social forman sistemas con más de un agente, es decir un Sistema Multi-Agente (SMA) que son producto de la necesidad de desarrollar aplicaciones complejas, que a un agente individual le tomaría demasiado tiempo resolver [4].

Basándose en las especificaciones de FIPA y con la meta de simplificar el desarrollo de un SMA surge Java Agents DEvelopment Framework (JADE), un

marco de trabajo estándar personalizado para el desarrollo de aplicaciones multi-agente distribuidas [5]. En JADE un agente inteligente puede ser definido como una entidad computacional capaz de solucionar problemas de operaciones en ambientes dinámicos y abiertos [6].

La creación de un SMA o incluso de un agente, requiere de grandes esfuerzos, por lo que se han adoptado métodos como los patrones para facilitar el trabajo con JADE, la creación de agentes e incluir comportamientos proactivos.

Con el patrón Proactive Observer\_JADE se facilita el trabajo con la plataforma de desarrollo JADE [7], se incorporan comportamientos proactivos; además se permite al usuario realizar cambios en el comportamiento de los agentes de forma dinámica, lo que es un aspecto primordial en el desarrollo de un SMA [8].

Los agentes creados con el patrón antes mencionado no tienen un comportamiento dotado de una inteligencia que pueda evolucionar utilizando técnicas de aprendizaje automático.

Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores los agentes creados con el patrón Proactive Observer\_JADE no aprenden para cambiar su comportamiento en función del aprendizaje. Por este motivo, es necesario agregar a estos agentes operaciones que les permitan adquirir conocimiento del medio donde trabajan, para revertirlo en un mejor funcionamiento de las actividades que realizan los agentes [9].

En el presente trabajo se aborda el problema del aprendizaje por refuerzo en los agentes que se implementan sobre la plataforma de agentes JADE. El objetivo del trabajo es transformar un algoritmo de aprendizaje reforzado que se adecue con el patrón Proactive Observer\_JADE.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS AGENTES

La historia de la computación según Wooldrige [1] ha estado marcada por cinco tendencias fundamentales: la ubicuidad, la interconexión, la delegación, la inteligencia y la orientación a humano.

Estas tendencias han permitido el surgimiento del paradigma de agentes. Los agentes intentan simular el comportamiento humano, teniendo como objetivos

interactuar, cooperar, coordinar y negociar con los demás agentes, de manera similar a como lo hacen los humanos.

En diferentes momentos se han comparado a los agentes con los objetos, pero los agentes no son objetos con otro nombre, debido a que un agente es un sistema racional que toma decisiones propias, que puede actuar de forma proactiva y no solo reactiva. Un agente se desempeña de forma diferente, dependiendo de la situación en que se encuentre, porque tiene una intención propia para cumplir una meta determinada de diseño [10, 11].

Franklin [12] brinda una definición de agentes en la que menciona que entre las propiedades principales de estos se encuentran: la autonomía, estar orientados a metas, ser colaborativos, flexibles, autoiniciables, con continuidad temporal, comunicativos, adaptativos y móviles. Agrega que un agente autónomo es un sistema situado en un ambiente que percibe y actúa sobre él en el tiempo, según su agenda propia, y de esta manera produce efectos que él mismo podrá sentir en el futuro [12].

Russell y Norvig [13] tienen una visión más flexible de los agentes, como una herramienta para analizar sistemas y no como una característica abstracta que divida al mundo en agentes y no-agentes.

De manera general la autora de este trabajo considera que las anteriores definiciones son válidas, con distintos niveles de amplitud y reflejando aspectos diferentes, sin entrar en contradicción una definición con la otra. Por tanto, se puede decir que las características fundamentales que poseen los agentes son: autonomía, habilidad social, reactividad y proactividad. Cuyas características se pueden resumir de la siguiente manera [1]:

- *Autonomía*: un agente opera sin la intervención directa de humanos y debe tener una cierta clase de control sobre sus acciones y su estado interno.
- *Habilidad social*: los agentes tienen la capacidad de interactuar con otros agentes mediante algún mecanismo de comunicación. Esto le permite lograr objetivos que por sí solos no puede lograr.

- *Reactividad*: los agentes perciben su entorno y responden en un tiempo razonable a los cambios que ocurren en él. El agente puede estar en estado pasivo la mayor parte del tiempo y despertar al momento que detecte ciertos cambios.
- *Proactividad*: el comportamiento proactivo es tomar iniciativa para mejorar las circunstancias actuales o crear nuevas [14].

Según [15] la proactividad tiene tres atributos fundamentales: comienza por sí misma, está orientada al cambio y se enfoca en el futuro. La proactividad se divide en tres niveles: individual, de equipo y organizacional [16].

## 2.1. El Marco de Desarrollo JADE

Se han desarrollado muchas plataformas con la finalidad de permitir la interconexión y ejecución de los agentes de un sistema multi-agente. Algunas siguen el estándar FIPA y otras se basan en arquitecturas de agente propias [5].

Java Agents DEvelopment Framework es un entorno de trabajo estándar personalizado para el desarrollo de aplicaciones multi-agente distribuidas. Su desarrollo está basado en las especificaciones de FIPA y tiene como meta simplificar el desarrollo de SMA mientras que asegura el cumplimiento de los estándares a través de un sistema de servicios y agentes comprensibles al programador [5]. Trabaja en aquellos aspectos que no están relacionados con el funcionamiento interno de los agentes y que son independientes de la aplicación, como el transporte de mensajes (su codificación y análisis) y el ciclo de vida de los agentes [17].

JADE puede ser considerado como un entorno de trabajo que implementa una plataforma de agentes y apoya el desarrollo de un SMA. La plataforma de agentes JADE se enfoca en el funcionamiento de un sistema de agentes distribuidos con el lenguaje Java. En particular, su arquitectura de comunicación trata de ofrecer mensajería flexible y eficiente, eligiendo el mejor transporte disponible de forma transparente y el aprovechamiento del estado de la técnica de la tecnología de objetos distribuidos, embebidos en un ambiente de tiempo de ejecución Java [5].

## 2.2. Patrón Proactive Observer\_JADE

Este patrón utiliza los principios del patrón de comportamiento Observer [18], maneja como base el protocolo de interacción Subscribe de FIPA [19].

Para lograr una implementación genérica del patrón con agentes, se deben crear fundamentalmente dos agentes: Observer y Observable. Los agentes que cumplirán con estos roles tendrán la capacidad de comunicarse y actuar autónomamente, pudiendo hasta cambiar su comportamiento en dependencia de las situaciones a las que se enfrenten [7].

El agente con el rol de Observable debe tener una lista interna de los agentes Observer para poder alertarlos de los cambios que detecta. Además debe esperar los mensajes de subscripción de los agentes Observer para poder sumarlos a la lista mencionada y enviar la respuesta de la subscripción. Por último debe tener la capacidad de enviar un mensaje a los Observers con los datos necesarios del cambio encontrado.

El agente Observer tiene que conocer los Observables existentes en el entorno para decidir a cuáles subscribirse. Además debe actualizar su estado cuando le llegue un mensaje con los datos que describen el cambio ocurrido y actuar en consecuencia.

## 3. APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

El aprendizaje automático se basa en diseñar algoritmos que permitan a una computadora aprender, tratando de encontrar regularidades estadísticas u otros patrones en los datos. Por tanto, muchos algoritmos pueden parecerse a un humano cuando aborda una tarea de aprendizaje [20].

El aprendizaje automático es la habilidad de las computadoras para entender los datos, gestionar resultados e inferir conocimiento de información incierta, es la fuerza detrás de muchas revoluciones recientes en la computación. Los filtros de correo spam, asistentes personales en los teléfonos inteligentes y vehículos que se auto-manegan están basados en los avances en las investigaciones del aprendizaje automático. Desafortunadamente, aunque la demanda de estas capacidades se ha ido acelerando, cada nueva aplicación necesita de un gran esfuerzo. Hasta un equipo de expertos especialmente entrenado

en aprendizaje automático realizan progresos lentos por la falta de herramientas para construir estos sistemas [9].

Los sistemas de aprendizaje automático aprenden a ejecutar acciones a partir de los datos. Si se tiene una aplicación que pensamos puede ser apoyada con aprendizaje automático, el primer problema que enfrentamos es la selección del algoritmo que se va a utilizar. La clave es no perderse entre todo el espacio, sino percatarse de que existe una combinación de solo tres componentes [21]:

Aprendizaje = representación + evaluación + optimización

- Representación: un clasificador debe estar representado en algún lenguaje formal que la computadora pueda manejar. Por el contrario, escoger una representación para un aprendiz es equivalente a escoger un grupo de clasificadores que sean posibles de aprender.
- Evaluación: una función de evaluación es necesaria para distinguir buenos clasificadores de los malos. La función de evaluación usada internamente por el algoritmo puede diferir del externo que queremos que el clasificador optimice.
- Optimización: finalmente necesitamos un método para buscar entre los clasificadores en el lenguaje para el de mayor score. La selección de la técnica de optimización es clave para la eficiencia del aprendiz, y también ayuda a determinar el clasificador producido si la función de evaluación tiene más de un mínimo.

Las técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning (ML, por sus siglas en inglés) se definen como la habilidad computacional de una máquina de mejorar su rendimiento basándose en resultados anteriores [22].

Algunas tareas de aprendizaje automático están orientadas hacia el diseño de robots móviles que aprenden a navegar según su propia experiencia, minar datos históricos en registros médicos para aprender cuales pacientes futuros responderán mejor a ciertos tratamientos, como construir motores de búsqueda que automáticamente se personalice hacia los intereses de los usuarios, la clasificación de documentos, entre otras [21].

### 3.1. Aprendizaje reforzado

El Aprendizaje Reforzado es el problema al que se enfrenta un agente que aprende a través de interacciones de prueba y error, en un ambiente dinámico. El aprendizaje por refuerzo es una técnica de aprendizaje automático que se aplica principalmente en entornos activos y dinámicos. En aprendizaje por refuerzo, el agente percibe el entorno que tiene a su alrededor y ejecuta acciones que lo modifican en un proceso iterativo de prueba y error. Cada vez que el agente ejecuta una acción sobre el entorno, éste le informa de su nuevo estado y de un refuerzo, que es alguna medida de la distancia al objetivo [23].

En el modelo del Aprendizaje Reforzado que se muestra en la Fig. 1 [24] se observa cómo un agente se conecta a su entorno a través de la percepción y la acción. En cada paso de interacción el agente recibe como entrada "i", alguna indicación del estado actual del entorno "s", el agente entonces selecciona una acción "a" generada como un resultado. La acción cambia el estado del entorno y el valor de esta transición de estado se le comunica al agente a través de una señal reforzada "r". El comportamiento del agente B, debe escoger acciones que tienden a incrementar la sumatoria de los valores de la señal reforzada [23]. Puede aprender comportarse con el tiempo por pruebas y errores sistemáticos, guiados por una amplia variedad de algoritmos.

### 3.2. Algoritmo Q-learning.

El algoritmo de Q-Learning [23] es un método libre del modelo que aprende a partir de conocimiento adquirido del entorno en cada acción ejecutada en cada estado, es decir, a partir de la experiencia generada durante la exploración del entorno.

Esta experiencia se representa mediante tuplas de experiencia que contienen:

- s, el estado actual en el que se encontraba el agente al ejecutar la acción.
- r, la acción ejecutada por el agente.
- s', el estado al que se ha llegado ejecutando la acción.
- r', el refuerzo obtenido por ello.

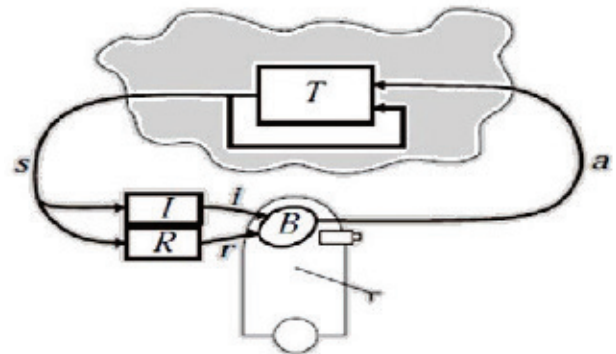


Fig. 1. Representación esquemática del aprendizaje reforzado

Dicha experiencia se encuentra en la función que mapea un estado y una acción ejecutada con un valor de la calidad de dicha acción en dicho estado.

El algoritmo de Q-Learning se basa en estimar la función de valor-acción, mediante la experiencia acumulada en los distintos episodios de aprendizaje. Habitualmente la representación de las funciones, se hace en una tabla de valores. Sin embargo, es posible aproximarla mediante técnicas de aproximación de funciones como redes de neuronas o árboles de decisión. El hecho de que la función dependa de dos parámetros, estado y acción, da lugar a dos alternativas posibles a la hora de aproximar su valor: en la primera alternativa, se usa un aproximado que toma como entrada tanto el estado, como la acción, obteniendo un valor. En la segunda alternativa, si el conjunto de acciones es reducido, se puede usar un aproximado para cada posible acción, obteniendo tantos aproximados como acciones sean posibles.

## 4. ALGORITMO MODIFICADO DE AJUSTE CON PATRÓN PROACTIVE OBSERVER\_ JADE

Como parte de la investigación desarrollada para este trabajo se estudiaron los diferentes algoritmos que se han diseñado para implementar el Aprendizaje Reforzado. Anteriormente se realiza una descripción del algoritmo Q-learning, el mismo es un método libre de modelo (lo que quiere decir que no necesita un modelo previo para aprender) porque aprende a partir de conocimiento adquirido del entorno en cada acción ejecutada en cada estado, es decir, a partir de la experiencia generada durante la exploración del entorno. El Q-learning es el algoritmo que se utiliza para implementar un SMA para entornos dinámicos, más dinámicos que la situación problemática des-



crita previamente en la Introducción de este trabajo [9, 21, 24-26]. Después del estudio realizado se decidió que partiendo del algoritmo Q-learning se le aplicarán modificaciones que permitan adaptarlo al problema que se está tratando. Las modificaciones desarrolladas respetan la estructura básica del Q-learning, pues también es un método libre de modelo que aprende de la interacción del usuario con el sistema y no de un modelo definido anteriormente. Para las adaptaciones del algoritmo, se toma como base que el aprendizaje se logra mediante la interacción del sistema con el usuario. A continuación se presenta la descripción del algoritmo:

Se construye una tabla llamada: "Aprendizaje" que contiene una relación directa entre un término Keyword y la relevancia.

El Keyword es extraído del documento, específicamente del título, por ejemplo "Java, SDK" contiene 2 Keyword, y la relevancia es un valor numérico individual para cada palabra.

La tabla "Aprendizaje" al inicio está vacía, pues como se ha mencionado se va construyendo durante la interacción del usuario con el componente.

La relevancia es un valor que depende del refuerzo, que a su vez depende de las acciones realizadas por el usuario.

Para una mayor comprensión de lo anteriormente expuesto, supongamos la siguiente situación: cuando se inicia el componente, en la clase interfaz "Selection\_UI", al usuario se le muestra toda la información que es nueva en la carpeta que se está vigilando; aquí el usuario puede guardar, ignorar o pedir sugerencias.

Cuando el usuario decide guardar información esta se almacena en la tabla "Aprendizaje", donde se separan las palabras y se les asigna un refuerzo a cada palabra de manera individual y posteriormente se le asigna refuerzo al título completo. El refuerzo ante esta acción es 1, es válido aclarar que este valor se puede variar según los intereses del usuario, solo se tiene que cambiar una función que asigne el refuerzo de otra manera.

En el caso de que el usuario ignore la información que se le está mostrando, se cierra la interfaz y el agente no aprende nada nuevo.

Cuando el usuario pide sugerencias se levanta la interfaz "Suggestion\_UI", el algoritmo se conecta con la tabla "Aprendizaje" y según los intereses del usuario que se hayan ido almacenando, se le muestra al usuario las sugerencias de la información, ordenada de mayor a menor según el orden de relevancia de los documentos. En esta interfaz el usuario podrá guardar o cancelar las sugerencias, si guarda la información que se le está sugiriendo, el valor del refuerzo aumenta en 0.5 porque además de realizar bien la acción recibe un premio extra por haberla sugerido correctamente y por ser interés del usuario.

En el caso de que el usuario cancele las sugerencias que se le están mostrando, se cierra la interfaz y el agente no aprende nada nuevo. Y no se realiza ninguna otra acción hasta que no llegue un grupo nuevo de información.

#### 4.1. Seudocódigo del Algoritmo:

- Informar que el agente se encuentra listo para ejecutar el episodio;

- Para cada documento D new;

Mostrar información al usuario;

- » Almacenar la información de interés del usuario;
- Separar las palabras del título de D;
- Asignar el refuerzo;
- Calcular la relevancia de las palabras;
- Calcular la relevancia para el título;
- Definir el Umbral (para mostrar sugerencias);
- Almacenar información en la Base de Datos;
- » Informar que el agente terminó el entrenamiento

- Mientras se copie un D nuevo repetir el ciclo de Mostrar información al usuario;

Mostrar sugerencias al usuario;

- Almacenar la información de interés del usuario;
- Separar las palabras del título de D;
- Asignar el refuerzo;

- Calcular la relevancia de las palabras;
  - Calcular la relevancia para el título;
  - Almacenar información en la Base de Datos;
- Repetir el ciclo de Mostrar información al usuario siempre que haya un D nuevo;
- Terminar cuando no haya más información nueva.

#### 4.2. El algoritmo en el agente Observer

Después de realizadas las modificaciones al Q-learning original para transformarlo en un algoritmo que se pudiera adecuar a la situación planteada, es momento entonces de incorporarlo al agente Observer. La manera en la que se propone hacerlo es a través de un comportamiento, un comportamiento no es más que una clase Java que le dice al agente como actuar dentro del SMA. Este comportamiento puede ser modificado en tiempo de ejecución lo que resulta muy importante en el desarrollo de un SMA. En la Fig. 2 se muestra en un diagrama la idea general del funcionamiento antes explicado, existe un paquete que contiene al patrón, otro con el agente o agentes Observer y otro con el comportamiento.

### 5. TRABAJOS FUTUROS

Como trabajo futuro se propone realizar diferentes casos de estudio que permitan validar mediante la experimentación la funcionalidad de la propuesta desarrollada. Para evaluar la mejora del funcionamiento de los agentes Observer dentro del SMA, permitiendo medir la evolución del aprendizaje de los agentes.

### 6. CONCLUSIONES

De manera general se puede concluir que el aprendizaje reforzado es una vía efectiva para incluir en los agentes comportamientos dotados de inteligencia.

Se transformó el algoritmo Q-learning para adecuarlo a la situación problemática planteada, logrando que el algoritmo ajustado permita a los agentes aprender. También se plantea la manera de incluir el algoritmo dentro de los agentes como comportamiento.

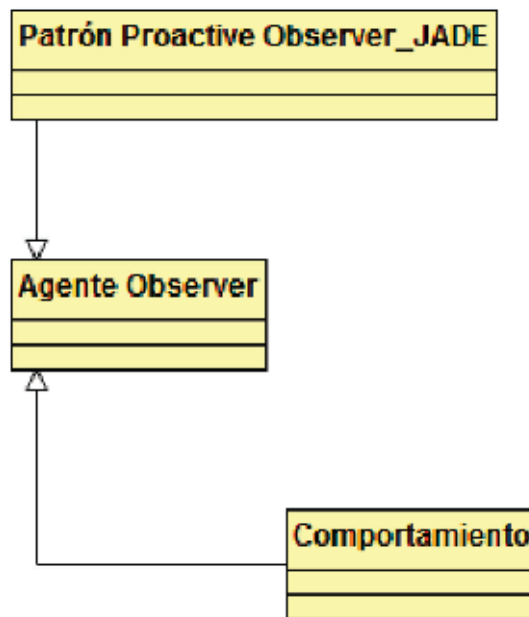


Fig. 2. Comportamiento incorporado en el Agente Observer

### REFERENCIAS

[1] M. Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2<sup>nd</sup>. John Wiley & Son, 2009. ISBN: 9780470519460.

[2] FIPA, *FIPA Agent Management Specification*. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. URL: <http://www.fipa.org/specs/fipa00023/>

[3] FIPA, *FIPA Communicative Act Library Specification*. Foundation For Intelligent Physical Agents, 2003. URL: <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.html>

[4] J. Ferber. "Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence". Addison-Wesley, 1999. ISBN 0-201-36048-9

[5] F. L. Bellifemine, G. Caire & D. Greenwood. "Developing Multi-Agent Systems with JADE". 1st. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2007. ISBN: 978-0-470-05747-6. URL: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470057475.html>

- [6] F. Bellifemine, F. Bergenti, G. Caire & A. Poggi, "Jade-A Java Agent Development Framework", in *Multi-Agent Programming*, R. Bordini, et al. (Ed.). Springer US., 2005, pp. 125-147. URL: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-387-26350-0\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-387-26350-0_5)
- [7] M. Moreno, A. Carrasco, A. Rosete & M. D. Delgado, "Patrones de Implementación para Incluir Comportamientos Proactivos," *Polibits*, Vol. January-June 2013, no. 47, pp. 73-87.
- [8] B. Henderson-Sellers, "From Object-Oriented to Agent-Oriented Software Engineering Methodologies", in *Software Engineering for Multi-Agent Systems III*, R. Choren, et al. (Ed.). Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 1-18. URL: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-31846-0\\_1](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-31846-0_1)
- [9] *DARPA Envisions the Future of Machine Learning*, 2013. URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2013-03-19a>
- [10] T. Ishida, L. Gasser & M. Yokoo. "Organization self-design of distributed production systems", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 4, no. 2, pp. 123-134, 1992. DOI: 10.1109/69.134249
- [11] OMG, *Agent Platform Special Interest Group: Agent Technology – Green Paper*, 2000. URL: [http://www.objs.com/agent/agents\\_Green\\_Paper\\_v100.doc](http://www.objs.com/agent/agents_Green_Paper_v100.doc)
- [12] S. Franklin & A. Graesser, "Is It an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents", in *Intelligent Agents III Agent Theories, Architectures, and Languages*, J. Müller, M. Wooldridge, and N. Jennings (Ed.). Springer Berlin Heidelberg, 1997, pp. 21-35. URL: <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2FBFb0013570>
- [13] S. Russell & P. Norvig. "Artificial Intelligence: A Modern Approach". 3rd, illustrated. Prentice Hall, 2010. ISBN: 978-0136042594
- [14] J. M. Crant. "Proactive Behavior in Organizations," *Journal of Management*, Vol. 26, no. 3, pp. 435-462, 2000. DOI: 10.1177/014920630002600304
- [15] A. M. Grant & S. J. Ashford. "The dynamics of proactivity at work," *Research in Organizational Behavior*, Vol. 28, pp. 3-34, 2008. DOI:10.1016/j.riob.2008.04.002
- [16] S. K. Parker, U. K. Bindl & K. Strauss. "Making Things Happen: A Model of Proactive Motivation," *Journal of Management*, Vol. 36, no. 4, pp. 827-856, 2010. DOI: 10.1177/0149206310363732
- [17] F. Bellifemine, A. Poggi & G. Rimassa, *JADE – A FIPA-compliant agent framework*, 1999. URL: <http://sharon.csel.it/projects/jade/papers/PAAM.pdf>
- [18] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson & J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Pearson Education, 2004. ISBN: 978-0201634983
- [19] FIPA, *FIPA Subscribe Interaction Protocol Specification*, Foundation For Intelligent Physical Agents, 2003. URL: <http://www.fipa.org/specs/fipa00095/PC00095A.pdf>
- [20] R. Barr & C. Rovee-Collier. "Encyclopedia of the Sciences of Learning". Estados Unidos: Springer, 2012. URL: <http://www.springer.com/us/book/9781441914279>
- [21] P. Domingos. "A few useful things to know about machine learning". *Commun. ACM*, Vol. 55, no. 10, pp. 78-87, 2012. DOI: 10.1145/2347736.2347755
- [22] A. Shhab, G. Guo & D. Neagu, *A Study on Applications of Machine Learning Techniques in Data Mining*, 2005. URL: <http://pythia.inf.brad.ac.uk/paper/BNCODWorkshop.pdf>
- [23] L. P. Kaelbling, M. L. Littman & A. W. Moore. "Reinforcement Learning: A Survey". *Artificial Intelligence Research*, Vol. 4, no. pp. 237-285, 1996. DOI: 10.1.1.134.2462
- [24] R. S. Sutton & A. G. Barto. "Reinforcement Learning: An Introduction". Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1998. ISBN: 978-0262193986
- [25] INTECHOPEN, "New Advances in Machine Learning", InTech, 374p, 2010. ISBN 978-953-307-034-6
- [26] C. Germain-Renaud, A. Cady, P. Gauron, M. Jouvin, Ch. Loomis, et al., en *The Grid Observatory*, IEEE Computer Society Press. *IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing*. Newport Beach, United States, May 2011.



# Simulación de un Robot Hexápodo Bioinspirado en el Tenebrio

## Simulation of a Robot in Bio-Inspired Hexapod Tenebrio

**Juan Pablo Rodríguez-Calderón, Est.**

*Grupo de Investigación AUTOMATIZA,  
Universidad Libre  
Bogotá, Colombia  
juanp.rodriguez@unilibrebog.edu.co*

**María Fernanda Ramos-Parra, Est.**

*Grupo de investigación AUTOMATIZA,  
Universidad Libre  
Bogotá, Colombia  
mariaf.ramos@unilibrebog.edu.co*

**Mauricio Vladimir Peña-Giraldo, MSc.**

*Grupo de investigación AUTOMATIZA,  
Universidad Libre  
Bogotá, Colombia  
mauriciov.penag@unilibrebog.edu.co*

(Recibido el 20-04-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

J. P. Rodríguez-Calderón, M. F. Ramos-Parra, M. V. Peña-Giraldo, "Simulación de un Robot Hexápodo Bioinspirado en el Tenebrio", Lámpsakos, N°. 14, pp. 33-39, 2015

**Resumen.** Los insectos son base fundamental en el estudio de la robótica reactiva ya que estos poseen características biológicas y motrices que son de interés para ser implementadas en robots bioinspirados, teniendo en cuenta el desempeño de éstos en diferentes áreas. Por otra parte, los animales hexápodos poseen omnidireccionalidad y estabilidad, debido a la formación del trípode de apoyo, el cual se crea en sus patas al dar un paso, lo cual les permite sobrepasar diferentes obstáculos con facilidad y velocidad constante.

En este proyecto se implementa el sistema locomotor del insecto Tenebrio debido a la facilidad con que se pueden apreciar sus movimientos. Se analiza el desplazamiento de las patas del insecto en diferentes trayectorias, vistas y terreno plano, posteriormente se encuentran los parámetros, ecuaciones y restricciones que limitan los diferentes eslabones de cada una de las patas del Tenebrio, esto se realiza por medio de un análisis de imágenes. Finalmente la información recogida se implementa en la plataforma MATLAB para determinar las características de movimiento, estabilidad y desplazamiento.

**Palabras clave:** cinemática; estabilidad; hexápodo; simulación; trípode de apoyo.

**Abstract.** Insects are an essential foundation in the study of reactive robotics because they possess both biological and moving features that are of interest to implement bio-inspired robots, keeping into account their performance in different areas. However, hexapods animals have omnidirectional and stability, due to their formation as a tripod support, which creates their feet in order to take a step, allowing them to overcome different obstacles with ease at constant speed.

In this project it has been implemented an insect Tenebrio locomotor system, thanks to the ease to see their movements. Legs movement of insects is analyzed in all trajectories, lands, and views. Furthermore, formulation of both parameters, equations, and constraints are performed by limiting the various links of each of Tenebrio's leg. This was realized through image analysis. Finally, the information was collected and implemented in MATLAB in order to determine the characteristics of movement, as well as its stability and drive.

**Keywords:** kinematics; stability; hexapod; simulation; support tripod.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los diseños de robots con patas han estado inspirados en insectos [1], [2], debido a la necesidad de suministrar una locomoción eficiente en superficies y espacios quebrados, los robots con patas a diferencia de los de ruedas permiten coordinación de movimientos y traslación similar a los insectos hexápodos que les proporciona una capacidad de adaptación al medio y desenvolvimiento en diferentes terrenos [3], [4], esta característica convierte a los robots bioinspirados en máquinas ideales para realizar tareas, como: servicios militares, detección de grietas, rastreo, exploración minera, etc.

Varios investigadores han dedicado sus estudios a robots caminantes por las ventajas y la capacidad de adaptación que tienen en diferentes espacios que son peligrosos para el hombre [5], [6]. Vale la pena resaltar algunos trabajos, ya que sobresalen por su profundidad en las investigaciones de bioinspiración en insectos:

Los robots caminadores tienen varias posibles aplicaciones, basadas en general, en su adaptabilidad cuando se desplazan por terreno irregular; en 2004 se realizó el estudio de (A. Arango, H. Correa y H. Satizábal) titulado *Diseño e Implementación de un Robot Móvil Hexápodo*, en este estudio se buscó crear un sistema locomotor basado en características propias de organismos vivos, especialmente insectos de 6 patas como hormigas, arañas o cucarachas, aprovechando las ventajas que estas puedan tener en determinados terrenos, mediante motores DC como articulaciones y microprocesadores para el control de estos. Se llegó a la conclusión de que las capacidades de libre movimiento se incrementarían aumentando la fuerza de las extremidades, proporcionando así la posibilidad de que el robot pueda cargar su batería para la alimentación de los motores, así como la adición de algunos sensores permitiría enriquecer la inteligencia del robot aumentando sus entradas para toma de decisiones [7].

Se han realizado varios estudios para analizar los limitados movimientos en las patas de los hexápodos, lo cual es de importancia para la formación del trípode en el movimiento del hexápodo; en 2005, un estudio realizado por (Y. Jung) titulado *Tripod Gaits for Fault Tolerance of Hexapod Walking Machines with a Locked Joint Failure*, analiza el trípode de apoyo durante la marcha y el rango de estabilidad sobre plano horizontal; de igual manera se estudió la ci-

nemática de cada una de las patas, para determinar el rango máximo y mínimo de movimiento durante la caminata. Se concluyó que para un buen desempeño del robot es necesario un análisis completo de la cinemática y dinámica, para que toda la parte de control y programación en el hexápodo pueda lograr una estabilidad y omnidireccionalidad en diferentes terrenos [8].

Las patas en los animales cumplen funciones de estabilidad y locomoción lo que les proporciona una gran adaptabilidad en el entorno; es por esto que en 2008 se realizó un análisis de (J. Chen and F. Lan) Titulado *Instantaneous Stiffness Analysis and Simulation for Hexapod Machines*, sobre la capacidad de carga del robot; para ello se analizó la rigidez estructural, el contacto entre la pata y el suelo, el centro de masa, la velocidad cuando el robot se mueve, para aumentar la precisión en cuanto al diseño y construcción. El análisis locomotor del robot se llevó a cabo mediante simulaciones para lograr la estabilidad y el control del robot. Se concluyó que para que el robot tenga un mayor rendimiento se debe tener precisión en el control de las extremidades del robot y adecuada rigidez, para tener mejor capacidad de movimiento así como velocidad constante durante la caminata [9].

Las máquinas con ruedas actualmente son empleadas debido a la velocidad y capacidad para desplazarse, pero estas sólo logran hacerlo en terreno regular; debido a esta desventaja varios investigadores iniciaron estudios en máquinas con patas por su capacidad para caminar sobre terrenos irregulares; es por esto que en la investigación de 2006 realizada por (S. Olaru & M. Nitulescu) y denominada *Stability Analysis Software Platform Dedicated for a Hexapod Robot*, se analizó la locomoción de las patas sobre terreno plano; se observó que el sistema presenta una serie de problemas en cuanto al control debido a la complejidad de lograr la estabilidad y coordinación de las patas en diferentes situaciones; es por esto que realizó la simulación para lograr la comprensión del control de las patas. La plataforma de simulación utilizada en este artículo es MATLAB; allí se analizó el polígono de apoyo de las patas que pierden contacto con el suelo y si el centro de masa que se encuentra dentro de este no sale del perímetro del trípode. Se pudo concluir que la plataforma de simulación permite un análisis en cuanto a estabilidad y control del robot, de igual manera ofrece un fácil manejo para los ángulos, masas y longitudes del robot [10].

Dentro de la programación y control de un robot hexápodo se encuentra una gran complejidad, debido a los diferentes sistemas de software que se implementan para el movimiento de las patas; es por esto que en el año 2009, se realizó una investigación por parte de (G. Carbone, A. Yatsun & M. Ceccarelli) titulado *Design and Simulation of Cassino Hexapod Robot*; allí se determinó el sistema locomotor, el cual consta de 18 motores DC adaptados a poleas y engranes para la reducción de velocidad, estos son controlados digitalmente por un PLC (Controlador Lógico Programable). Cada pata se conforma de varios módulos, estas cuentan con 4 grados de libertad que permiten al robot el movimiento y la estabilidad. El control se logra mediante un programa de computadora, el cual permite dirigir las patas mediante el uso del PLC. En el panel de control se encuentran 2 interruptores, uno se encarga de alimentar todo el sistema y el otro del movimiento de las patas, el PLC recibe las señales de los interruptores obteniendo así el mando de los diferentes motores del hexápodo. Se pudo concluir que el buen desempeño del robot se logra mediante un análisis completo de la cinemática y dinámica, para que toda la parte de control y programación en el hexápodo pueda lograr la estabilidad en diferentes terrenos [11].

## 2. METODOLOGÍA

El rasgo más determinante dentro la investigación es el movimiento de las patas del insecto del cual se desea inspirar, es por esto que se le dio un enfoque metodológico estructurado para su efectiva realización. La bioinspiración es la forma de emular sistemas mecatrónicos con características biológicas; para llevar a cabo esto se realizó una videometría implementada en la plataforma MATLAB para hacer un análisis de los movimientos del insecto en la caminata. Se realizaron los modelos matemáticos de la cinemática directa e inversa del insecto, evaluando sus parámetros y variables durante la marcha. La simulación se implementó para experimentar y describir el comportamiento de un sistema complejo del mundo real; debido a esto se realizó una representación CAD del insecto en SolidWorks que se vinculó a Simulink-MATLAB, para evaluar la similitud del sistema locomotor, trípode de apoyo y desplazamiento. Para obtener resultados aproximados a la realidad se realizaron pruebas con un prototipo diseñado con base en el tenebrio, en el que se emuló el movimiento de las patas del mismo.

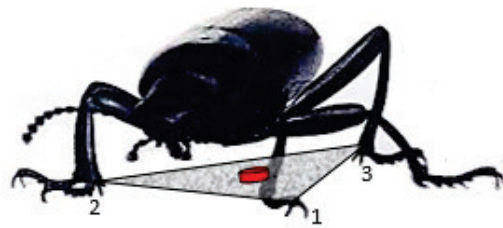


Fig. 1. Representación polígono de apoyo insecto tenebrio.  
Fuente: Autores del proyecto.

### 2.1. Videometría

El análisis de las patas se realizó mediante una esquematización del movimiento de las extremidades del insecto en diferentes tiempos, para saber el momento en que cambian de posición y los ángulos que tiene cada eslabón de la pata cuando el animal está en movimiento, para luego hacer un análisis cinemático de las patas de acuerdo con la importancia, donde las extremidades medias son las de mayor importancia, ya que estas son las que realizan las funciones de impulso y dirección, las delanteras que son de dirección y las traseras que son solo de impulso.

### 2.2. Estabilidad

Para lograr estabilidad, los hexápodos cuentan con tres apoyos que le otorgan soporte y al mismo tiempo cuentan con otros tres que se encargan del movimiento para otorgarle una nueva posición.

El diseño del prototipo hexápodo que se estudia en este trabajo es un robot de 18 grados de libertad con 3 grados por pata respectivamente. El robot, basa su diseño en la anatomía del tenebrio (Fig. 1). Al estar en movimiento constante es necesario que las 3 patas de apoyo sean estáticamente estables para formar un trípode de apoyo dentro del cual se ubica su centro de masa, que está basado en la alternación de trípodes, en el momento en que las patas 1, 2 y 3 (Fig. 2) se encuentran en el suelo dando firmeza, las patas A, B y C se levantan para dar un paso cada una y realizar un cambio de posición.

## 3. MODELO CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA

En la Fig. 3 se encuentran las asignaciones correspondientes a cada articulación de los ejes coordenados para la implementación de los parámetros de Denavit-Hartenberg.

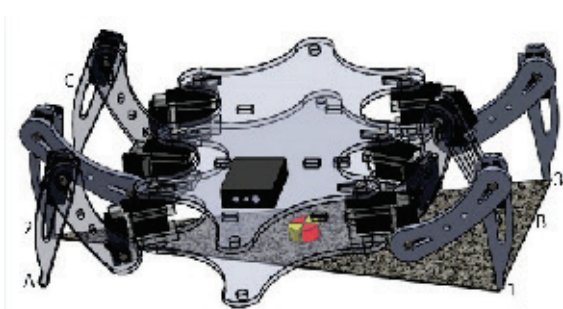


Fig. 2. Representación polígono de apoyo del modelo CAD. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 1. Parámetros D-H

LINK	$\theta$	d	a	$\alpha$
1	0	0	X	0
2	$\theta_1$	$-l_0$	0	$-\pi/2$
3	$-\pi/2 + \theta_2$	0	$l_1$	0
4	$\pi/2 + \theta_3$	0	$l_2$	0

Por medio de los parámetros de Denavit-Hartenberg (Tabla 1) se pueden obtener la matriz final de transformación homogénea de una pata (1):

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} -c_1(s_2s_3 - c_2c_3) & -c_1(c_2s_3 + c_3s_2) & s_1 & x + c_1c_2l_1 + c_1c_2c_3l_2 - c_1s_2s_3l_2 \\ -s_1(s_2s_3 - c_2c_3) & -s_1(c_2s_3 + c_3s_2) & -c_1 & y + c_2s_1l_1 + c_2c_3s_1l_2 - s_1s_2s_3l_2 \\ c_2s_3 + c_3s_2 & c_2c_3 - s_2s_3 & 0 & s_2l_1 - l_0 + c_2s_3l_2 + c_3s_2l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde  $c_1, s_1, c_2, s_2, c_3$  y  $s_3$  están dados por  $\cos\theta_1, \text{sen}\theta_1, \cos\theta_2, \text{sen}\theta_2, \cos\theta_3$  y  $\text{sen}\theta_3$  respectivamente. La matriz  $T_4^0(1)$ , hace referencia a un análisis cinemático directo desde la base y centro de masa hasta al extremo de la pata, proporcionando las coordenadas de la posición final de una pata en función de los parámetros y variables del movimiento angular de los eslabones.

En la Fig. 4 se encuentran cada una de las asignaciones realizadas para determinar la cinemática inversa de la pata.

$$X_i = x + c_1c_2l_1 + c_1c_2c_3l_2 - c_1s_2s_3l_2 \quad (2)$$

$$Y_i = y + c_2s_1l_1 + c_2c_3s_1l_2 - s_1s_2s_3l_2 \quad (3)$$

$$Z_i = s_2l_1 - l_0 + c_2s_3l_2 + c_3s_2l_2 \quad (4)$$

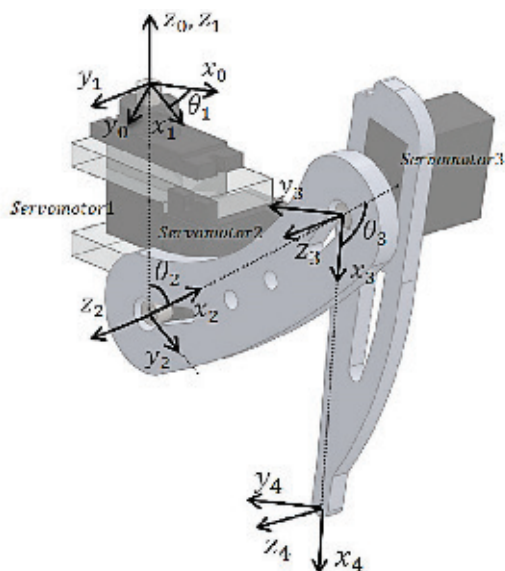


Fig. 3. Coordenadas cinemática directa. Fuente: Autores del proyecto.

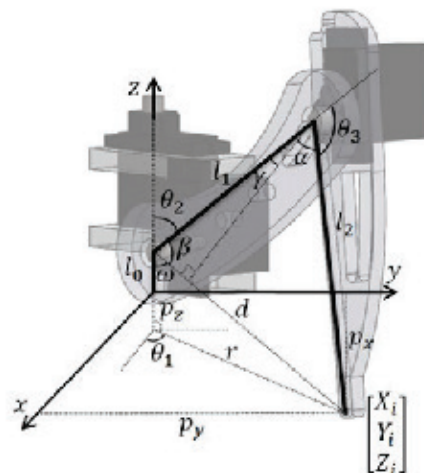


Fig. 4. Parámetros cinemática inversa. Fuente: Autores del proyecto

Donde  $X_i, Y_i$  y  $Z_i$  permiten determinar la posición variable del extremo de la pata en el plano  $y$ , y son los ángulos de la articulación (Fig. 3). Las ecuaciones de cinemática inversa de una pata, se definen por:

$$r = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (5)$$

$$d^2 = r^2 + (P_z + l_0)^2 \quad (6)$$

$$d = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + (P_z + l_0)^2} \quad (7)$$



$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) \quad (8)$$

$$\omega = \tan^{-1}\left(\frac{r}{l_0 + P_z}\right) \quad (9)$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{-l_2^2 + d^2 + l_1^2}{2l_1d}\right) \quad (10)$$

$$\theta_2 = \pi - \beta - w \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (12)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{l_1 \sin \beta}{l_2}\right) \quad (13)$$

$$\theta_3 = \pi - \gamma - \alpha \quad (14)$$

#### 4. SIMULACIÓN

Mediante la simulación realizada en la plataforma SIMULINK-MATLAB se analizaron los parámetros de velocidad, desplazamiento angular y posición final de las patas, encontradas con la videometría y análisis cinemático del insecto; de igual manera se evaluó la formación del polígono de apoyo ya que este es importante durante la caminata del insecto al otorgar estabilidad y garantiza su omnidireccionalidad dentro de la marcha constante. Se realizaron pruebas para determinar características de similitud de movimiento con el insecto tenebrio, ya que es uno de los objetivos de este proyecto (Fig. 5 y Fig. 6).

En la Fig. 7 se pueden observar las gráficas de desplazamiento angular de una pata del insecto Tenebrio durante 5 ciclos de caminata constante, al superponerlas con las gráficas de desplazamiento angular de la simulación del modelo CAD (Fig. 8); se encontró que la similitud de movimiento es semejante, presentando una variante mínima, la cual no tiene un valor significativo dentro de su desplazamiento y estabilidad sobre el terreno.

En la Fig. 9 están representadas las gráficas del desplazamiento angular de una pata del prototipo durante 5 ciclos de marcha, donde se puede observar que el movimiento es similar al del insecto y modelo CAD, estando dentro del rango de grados y tiempo cuando se realiza el cambio de posición y alternación del trípode de apoyo.

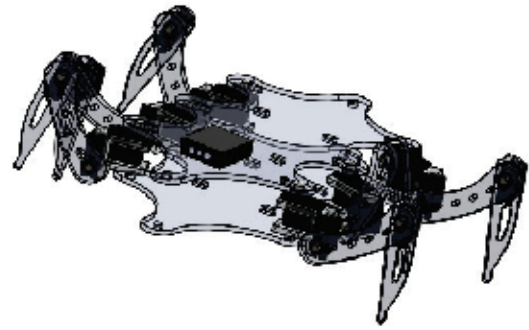


Fig. 5. Diseño CAD. Fuente: Autores del proyecto

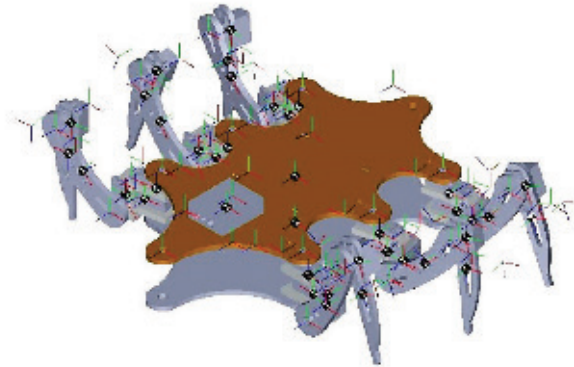


Fig. 6. Simulación en plataforma Simulink. Fuente: Autores del proyecto.

El prototipo (Fig. 10) cuenta con 3 servomotores por pata de 4.8 V DC y 2 kg.cm de torque, que le proporcionan la libertad de movimiento, una tarjeta Arduino para la vinculación, programación y control de los servomotores mediante Simulink-MATLAB y una protoboard de 270 puntos para realizar las respectivas conexiones de señal y alimentación; de igual manera se emplearon las ecuaciones anteriormente descritas junto con los datos de la videometría, para la obtención de los parámetros y restricciones de movimiento del insecto tenebrio, para poder implementarlos al prototipo y así emular su comportamiento durante la caminata.

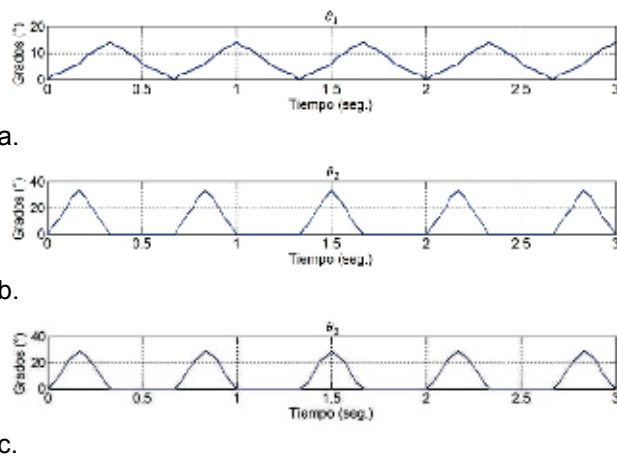


Fig. 7. Desplazamiento angular pata 1 insecto. Fuente: Autores del proyecto.

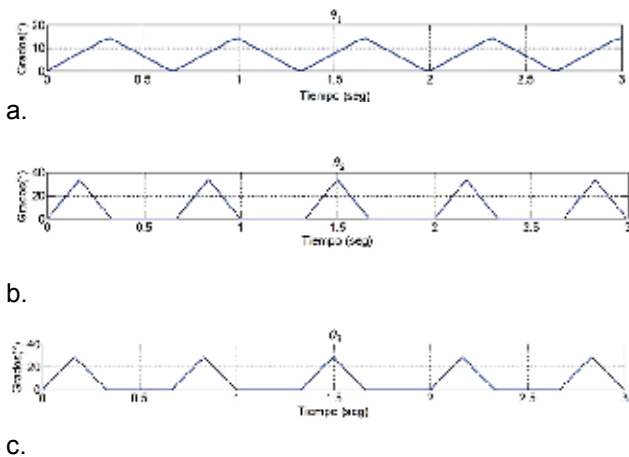


Fig. 8. Desplazamiento angular pata 1 modelo CAD. Fuente: Autores del proyecto.

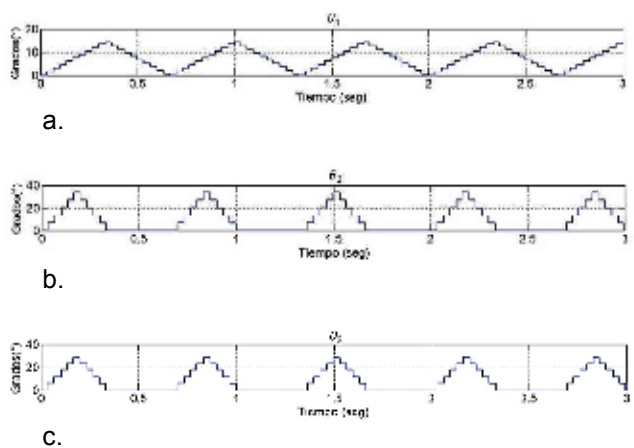


Fig. 9. Desplazamiento angular pata 1 del prototipo. Fuente: Autores del proyecto.

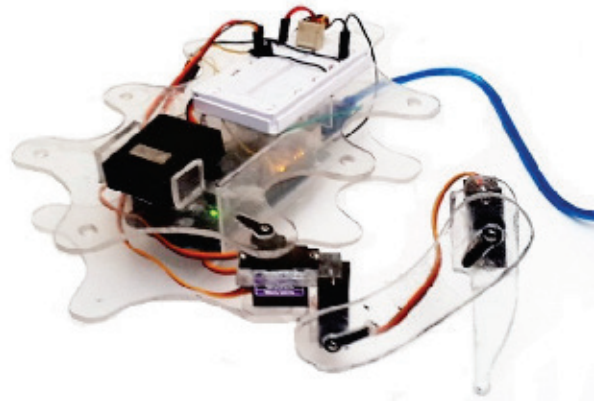


Fig. 10. Robot prototipo (Fuente: Autores del proyecto)

## 5. TRABAJOS FUTUROS

Los trabajos posteriores conllevarán a la dinámica e instrumentación del robot, donde se está realizando un análisis dinámico para poder obtener el modelo matemático, que describa las fuerzas y torques que actúan en las articulaciones con respecto a los centros de masa que están presentes en cada eslabón, para así poder realizar la simulación del modelo y obtener una descripción más detallada del movimiento, incorporando masas, distancias al centroide de cada eslabón del robot y sus respectivos momentos de inercia. Por otra parte, se pretende implementar en el prototipo un sensor de proximidad ultrasónico por su largo alcance, para así poder prever las colisiones con objetos que se encuentren en la trayectoria y así cambiar de dirección con anticipación, de igual manera una cámara inalámbrica que permita monitorear el entorno y sucesos que estén ocurriendo en tiempo real desde un ordenador operado por una persona.

## 6. CONCLUSIONES

Por medio de la videometría se pudieron determinar los parámetros de movimiento de las patas del insecto, contemplando un margen de error mínimo debido a la dificultad en la toma de vídeo por el tamaño del Tenebrio. El modelo matemático de la cinemática directa se adapta adecuadamente al movimiento de una pata del insecto al describir el desplazamiento angular de cada articulación y proporcionar las coordenadas de la posición final del extremo de la pata, de igual manera por medio de las ecuaciones de la cinemática inversa, se determinaron los parámetros

y coordenadas finales que proporcionan la nueva posición que tendrá el insecto al caminar. A partir de la simulación y la obtención de las gráficas se pudo demostrar que el diseño del prototipo es viable, ya que asemeja sus características y restricciones de desplazamiento angular a las de las patas del Tenebrio, asimismo se corroboró que el centro de masa permaneciera dentro de la formación del trípode de apoyo, aun cuando se hace la alternación para conservar la estabilidad. En el prototipo se analizó el movimiento de la pata 1, en el que se evaluaron características de movimiento de similitud con el insecto, al igual que se realizó una comparación de las restricciones y parámetros obtenidos del video del insecto y la simulación del modelo CAD con respecto a las pruebas realizadas con el prototipo.

## REFERENCIAS

- [1] J. E. Vargas, "Diseño un Robot Hexápodo Tipo Hormiga" en *VIII Congreso Mexicano de Robótica, COMRob*. México, D.F., 2006, pp. 80-85. [Online] Disponible en: <http://www.profesaulosuna.com/data/files/ROBOTICA/CONTROL%20MATLAB%20ROBOT/evs-amrob06.pdf>. Agosto de 2015.
- [2] J. Ollervides, N. Pineda, A. Sáenz, V. Santibáñez y A. Dzul, "Sistema de Control de Locomoción de un Robot Hexápodo Caminante" en *Congreso Nacional de Control Automático*. Baja California, México, 2013, pp. 520-525. [Online] Disponible en: <http://eventos.cicese.mx/amca2013/papers/0179.pdf>. Agosto de 2015.
- [3] R. Campos, M. Vitor, & C. Santos, "Hexapod Locomotion a Nonlinear Dynamical Systems Approach" in *36<sup>th</sup> Annual conference on IEEE Industrial Electronics Society*. Glendale, AZ, 2010, pp. 1546-1551. [Online] Disponible en: 10.1109/IECON.2010.5675454. Agosto de 2015.
- [4] R. R. Herrera, T. M. B. Cambray y J. F. S. Talamantes, "Robot Insecto Orientado a Comportamiento" en *VIII Congreso Nacional de Mecatrónica*. Veracruz, 2009, pp. 10-15. [Online] Disponible en: <http://www.mecamex.net/anterior/cong08/articulos/03.pdf>. Agosto de 2015.
- [5] G. Jianhua, "Design and Kinematic Simulation for Six-DOF Leg Mechanism of Hexapod Robot" in *International Conference on Robotics and Biomimetics*. Kunming, China, 2006, pp. 625-629. . [Online] Disponible en: 10.1109/RO-BIO.2006.340272. Agosto de 2015.
- [6] Z. Jing, W. Jianhua, C. Weihai, & C. Wenjie, "Virtual Model Optimization and Locomotion Control of Bionic Hexapod Robot" in *7<sup>th</sup> IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. Singapore, 2012, pp. 497-501. [Online] Disponible en: 10.1109/ICIEA.2012.6360779. Agosto de 2015.
- [7] A. Arango, H. Satizábal & H. Correa, "Diseño e Implementación de un Robot Móvil Hexápodo," *Revista Energía y Computación*, vol. 12, pp. 1-7, 2004. [Online] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10893/1416>.
- [8] Y. Jung, "Tripod Gaits for Fault Tolerance of Hexapod Walking Machines with a Locked Joint Failure," *Revue Robotics and Automous Systems*, vol. 52, pp. 180-189, 2005. [Online] Disponible en: 10.1016/j.robot.2005.04.002.
- [9] J. Chen, & F. Lan, "Instantaneous Stiffness Analysis and Simulation for Hexapod Machines," *Revue Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 16, pp.419-428, 2008. [Online] Disponible en: 10.1016/j.simpat.2008.01.003.
- [10] S. Olaru and M. Nitulescu, "Stability Analysis Software Platform Dedicated for a Hexapod Robot", *Revue Advances in intelligent Control Systems and Computer Science*, vol. 187, pp. 143-156, 2013. [Online] Disponible en: 10.1007/978-3-642-32548-9\_11.
- [11] G. Carbone, A. Yatsun, S. Yatsun and M. Caccarelli. "Design and Simulation of Cassino Hexapod Robot". In 2009 13<sup>th</sup> WSEAS International Conference on SYSTEMS, pp. 301-307. [Online] Disponible en: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/rodos/SYSTEMS/SYSTEMS42.pdfA>

# Capacidad de Orquestación de Servicios Web en las Herramientas MULE ESB y Oracle Service Bus

Web Service Orchestration Capacity in MULE ESB and Oracle Service Bus tools

**Claudia Ivette Castro-Zamora, Ing.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.  
La Habana, Cuba.  
ccastro@ceis.cujae.edu.cu*

**Eva Flores-Valdés, Ing.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.  
La Habana, Cuba  
eflores@ceis.cujae.edu.cu*

(Recibido el 10-04-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

C. I. Castro-Zamora, E. Flores-Valdés, "Capacidad de Orquestación de Servicios Web en las Herramientas ESB MULE y Oracle Service Bus", Lámpsakos, N° 14, pp. 40-50, 2015

## Resumen

La gestión de la información se ha convertido en un factor fundamental para el desempeño óptimo del sector empresarial. Es muy frecuente que los sistemas implantados deban evolucionar en conjunto con la organización en la que se encuentran funcionando, con el objetivo de satisfacer los nuevos requerimientos que surgen en la misma. En este proceso de crecimiento se ve la necesidad de que estos sistemas compartan información y se trabaje con esta de manera automatizada para dar soporte a los disímiles procesos de negocio definidos. La adopción de una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) posibilita la creación de sistemas dinámicos y escalables, además, facilita el proceso de interacción entre estos y otras aplicaciones. Entre los facilitadores para la implantación de una SOA se encuentra la tecnología Bus de Servicios Empresariales que se basa en una infraestructura de software que funciona como capa intermedia, proporcionando servicios de integración de las distintas aplicaciones a través de mensajería basada en estándares y servicios de sincronización. Esta se basa en un conjunto de capacidades para dar solución a cualquier escenario de integración. En este trabajo se evaluará el comportamiento de dos herramientas que implementan la tecnología ESB con respecto a la capacidad de orquestación de servicios que no es más que un proceso de colaboración entre distintos servicios bajo un patrón determinado.

**Palabras clave:** Orquestación de Servicios; Arquitectura Orientada a Servicios; Bus de Servicios Empresariales.

**Abstract.** Information Management has become a key factor for enterprise optimal development. It is usual that legacy systems implanted evolve along with the organization in which they function, in order to fulfill new upcoming requirements. Growth processes are essential in those systems that share information while supporting defined business processes. The adoption of a Service Oriented Architecture (SOA) enhances the creation of both dynamic and scalable systems. Furthermore, it facilitates the interaction among those systems and other applications. The technology Enterprise Service Bus (ESB) arises as a facilitator of an SOA implantation. An ESB is based upon a software infrastructure that acts as a middleware that provides integration services between different applications by means of messaging based standards. It also provides a set of capacities to support the making of feasible solutions to any integration scenario. In this work, authors analyze some of the macro components provided by referred ESB's tools that support service orchestration capacity as a service collaboration process under a defined pattern.

**Keywords:** Service Orchestration; Service Oriented Architecture; Enterprise Service Bus.



## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la problemática de integración de aplicaciones es un tema común debido a que las empresas requieren desarrollar, implementar e integrar nuevas aplicaciones en sus entornos. Esta necesidad creciente de aplicaciones dinámicas constituye uno de los motivos principales por el que muchas organizaciones han adoptado o están por adoptar una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA, por sus siglas en inglés) como la nueva base de sus aplicaciones. La idea de SOA es que, mediante la utilización de servicios, se pueda dar soporte a los requisitos del negocio, proporcionando la creación de aplicaciones altamente escalables y que puedan interactuar entre diferentes sistemas propios de la organización o de terceros [1].

Entre los facilitadores tecnológicos que permiten la implantación de una SOA, se encuentra el modelo Bus de Servicio Empresarial (ESB, por sus siglas en inglés). Lo esencial de este modelo es que se encuentra diseñado para actuar como una capa intermedia de comunicación entre los distintos sistemas sin que importe la tecnología en que estén desarrollados y su ubicación en la red [2].

Según una encuesta aplicada por la compañía *Forrester Research* en el año 2011 de un total de 167 encuestados entre desarrolladores de aplicaciones y arquitectos del área de integración pertenecientes a empresas ubicadas en Europa, Asia y Norteamérica, el 58% se encontraban utilizando un ESB, un 32% de los encuestados estaban considerando el uso de este modelo y solo un 7% indicaron que no estaban interesados [3]. Este resultado revela un alto nivel de interés por los ESB, ya que las amplias capacidades que proporcionan han hecho una opción popular para resolver las necesidades de integración e implementar una SOA.

Entre las ventajas de un ESB está que proporciona ubicación centralizada para la administración y gestión de los sistemas integrados, brindando una serie de funcionalidades predefinidas que ahorran en tiempo y esfuerzo a los desarrolladores a través de una mayor configuración en vez de tener que codificar toda la integración [4]. Además provee la capacidad de combinar varios servicios existentes para que cumplan con las necesidades requeridas por el cliente, puesto que con un solo servicio no se satisfacen; esta capacidad es conocida como orquestación de servicios [4]. La gestión y monitoreo de los servi-

cios para tener conocimiento y control de la calidad de los servicios (QoS, por sus siglas en inglés), así como la transformación y enrutamiento de los mensajes que viajan de una aplicación a otra, son otras de las capacidades con las que cuenta un ESB [5]. Sin embargo la implantación de un ESB en una organización exige de una administración constante y se precisa de personal capacitado. También presenta mayor latencia, causada por los mensajes que viajan dentro del ESB, especialmente si se compara con las comunicaciones punto a punto.

En el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (CUJAE) existen disímiles sistemas que están especializados en la gestión de procesos en los que se involucran trabajadores docentes, no docentes y estudiantes. Entre estos se tienen, el sistema SIGENU, encargado de la gestión de los procesos estudiantiles, el Sistema del pago del estipendio estudiantil en el departamento de Economía de la CUJAE, el Sistema Doctus para la gestión de préstamos de libros en la biblioteca o el sistema Copérnico, encargado de la gestión de los proyectos de investigación en el que participan profesores y especialistas de la universidad. Además, existen, para cada Facultad, sistemas de Intranet en la que se gestionan algunos procesos, tenidos en cuenta ya en aplicaciones mencionadas. Esta situación da paso al problema de la existencia de un entorno automatizado, donde los sistemas actúan como islas y la información que manejan se encuentra dispersa y replicada en muchos casos. Debido a esto se han adoptado medidas, en principio, para dotar a las aplicaciones existentes de mecanismos de comunicación, tales como los servicios web y se han documentado estos en sitios web con el objetivo de brindar algunas opciones de registro; esta última solución, los autores la clasifican como deficiente debido a la no utilización de registros especializados, como los basados en el estándar UDDI.

En estos momentos se están investigando iniciativas para re-implementar los procesos actuales utilizando estrategias de integración para la construcción de una visión unificada de la información y los procesos de la universidad. Una de estas estrategias es el estudio del modelo Bus de Servicios Empresariales, sus capacidades y factibilidad de uso para solucionar ciertos entornos de integración. En este artículo se analiza la capacidad orquestación de servicios en dos herramientas ESB para lo que se realiza un estudio de componentes de las herramientas MuleSoft y Oracle Service Bus utilizados en esta capacidad,

además se valora su utilización en la implementación de un caso de estudio de integración donde se involucran los sistemas SIGENU y la Intranet de la Facultad Ingeniería Informática.

## 2. SERVICIOS WEB

En las últimas décadas los sistemas informáticos han evolucionado desde ser totalmente aislados y centralizados hacia su concepción dinámica y distribuida [6] aprovechando las posibilidades que han traído los avances en las comunicaciones sobre la red. Este hecho se evidencia a través del surgimiento de la computación orientada a servicios (SOC, por sus siglas en inglés) la que provee un enfoque de gobierno para la visión de la automatización de procesos o lógica de negocio como sistemas distribuidos [6]. SOC tuvo sus antecedentes en los modelos orientados a objetos y posteriormente en el modelo de desarrollo basado en componentes, el cual incorporó beneficios como la auto-descripción, encapsulación, descubrimiento y la carga dinámica que la orientación a servicios sigue adoptando.

La Arquitectura Orientada a Servicios es un paradigma para la concepción de SOC y proporciona una guía para el diseño de servicios accesibles y reusables con el objetivo de obtener como resultado una arquitectura flexible. Los servicios constituyen el componente principal de una SOA y de forma general exponen una función de negocio que debe ser consumida por una aplicación cliente [1]. La comunicación entre un proveedor de servicios y su consumidor se puede implementar por diferentes vías [7]:

*Comunicación dentro de la misma plataforma* utilizando mecanismos como *Remote Method Invocation* (RMI, por sus siglas en inglés) o *Java Message Service* (JMS, por sus siglas en inglés) todos dentro de la plataforma Java. Este tipo de comunicación tiene la desventaja de que el servicio y sus consumidores deben compartir la misma tecnología lo que no favorece la interoperabilidad.

*Capa de comunicación de objetos distribuidos* como el uso de una Arquitectura Común de Intermediarios en Peticiones a Objetos (CORBA, por sus siglas en inglés) o a través la utilización del Modelo de Objetos de Componentes Distribuidos (DCOM, por sus siglas en inglés). Este mecanismo aunque aportaba interoperabilidad a las soluciones, decreció en popu-

laridad debido al auge de tecnologías sobre la Web y consecuentemente, de soluciones mejor alienadas a esta [1].

*Protocolo de comunicación basado en texto*, donde el cliente y su consumidor se comunican a través de mensajes de texto. Los servicios web están basados en este enfoque y se logra la interoperabilidad ya que los mensajes que se intercambian utilizan el estándar XML para su representación.

Según la W3C los servicios web son sistemas de software diseñados para el soporte de la interacción máquina a máquina sobre la red que contiene una interfaz descrita en un formato procesable [8]. Desde el punto de vista tecnológico los servicios web se pueden implementar por una parte, utilizando el estándar Simple Object Access Protocol (SOAP, por sus siglas en inglés) para identificar el formato de mensajes que se va a intercambiar; Web Service Description Language (WSDL, por sus siglas en inglés) para la descripción de los datos, operaciones e información de comunicación. Por otra parte, los servicios web REST se caracterizan por la definición de un conjunto de principios de arquitectura que basa su funcionamiento en las capacidades que brinda el protocolo HTTP donde todos los recursos del servicio se identifican a través de una URI, se manipulan utilizando un conjunto fijo de operaciones PUT, GET, POST y DELETE además, los recursos no están acoplados con su representación por lo que su contenido puede ser accedido en otros formatos como HTML, XML, texto plano, entre otros [9].

La selección de algunos de estos estilos de arquitectura para la implementación de servicios web depende totalmente de entorno en el que vayan a funcionar. Los servicios basados en REST son usualmente más sencillos de desarrollar y más ligeros, por lo que se pueden adecuar mejor a escenarios de aplicaciones móviles por ejemplo; mientras que, si se desea exponer lógica y no datos o se requieren las capacidades de los protocolos estándares de WS-\*, entonces la opción del estilo SOAP es la más adecuada [6].

## 3. ORQUESTACIÓN DE SERVICIOS

Como se ha mencionado anteriormente, la esencia de SOA es la creación de servicios que deben tener, entre otras, la característica de ser reusables para sistemas que los utilicen directamente o para

implementar nuevas funcionalidades, producto de la composición de un conjunto de estos. Según [10] la composición de servicios es una agregación coordinada de servicios cuyo alcance está asociado generalmente a la automatización de procesos de negocio. Los servicios web se pueden combinar de dos formas, mediante una orquestación o una coreografía [11].

La coreografía no depende de un orquestador central, cada servicio que interviene en el proceso tiene que conocer cuándo entrar en acción y cuándo estar inactivo [12]. Desde el punto de vista de la ejecución de un proceso la orquestación se centra en el funcionamiento interno, mientras que la coreografía lo hace en la perspectiva externa, enfocándose en la interacción de este proceso [11]. Por otra parte, la orquestación se refiere a un proceso de negocio compuesto por servicios web para completar su objetivo. El proceso es controlado por un agente en el sistema y es descrito en términos de intercambio de mensajes y órdenes de ejecución [11, 12]. Los servicios web invocados no son conscientes de que están siendo invocados para la definición de un proceso de negocio [11]. Esto hace que la orquestación sea un proceso más eficiente para la composición de servicios, aspecto que es demostrado por el apoyo que ha recibido por la industria [11].

En la última década se han desarrollado varios estándares para la descripción formal de ambos procesos, específicamente para la coreografía se concibieron, entre otros, Web Service Choreography Description Language (WS-CDL) [13] y Web Service Choreography Interface (WSCI) [14]. Por otra parte, BPEL es una especificación de lenguaje basado en XML para la concepción de procesos de negocio a través de la interacción de servicios web y es utilizado para modelar el comportamiento tanto de procesos de negocio ejecutables como abstractos [15].

La definición de un proceso BPEL puede ser ejecutada por un motor de orquestación, que es el coordinador central. El motor lee el documento BPEL e invoca los servicios web necesarios en el orden especificado, ya sea secuencialmente o en paralelo. El proceso en sí puede ser ofrecido como un nuevo servicio web, ser invocado de la misma forma y puede expresar comportamiento condicional. Además, se pueden definir lazos, tratamiento de errores, copiar y asignar valores, entre otros, por lo que la definición de un proceso BPEL puede realizarse de forma algorítmica.

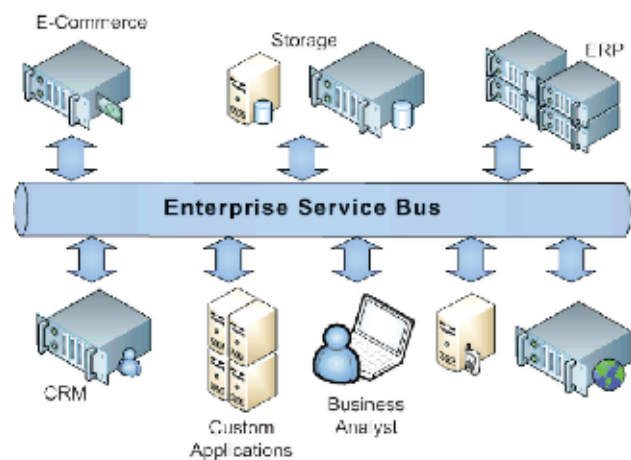


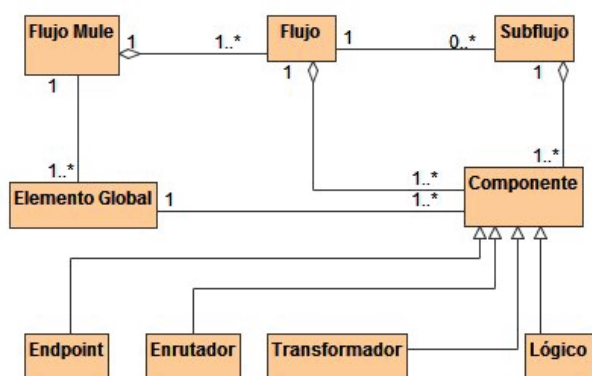
Fig. 1. Modelo ESB [17]

#### 4. ESB Y SUS CAPACIDADES

En una Arquitectura Orientada a Servicios, como se muestra en la Fig. 1 un ESB representa el elemento de software que media entre las aplicaciones y permite la comunicación entre ellas, sin importar la heterogeneidad de protocolos y tecnologías. Idealmente ESB es una oferta de producto que proporciona al desarrollador un conjunto de funcionalidades o capacidades de integración y un entorno de gestión válidos para satisfacer los requisitos de cualquier escenario de integración [16].

Transformación de mensajes: cuando se habla de integración de aplicaciones, no es un error pensar que estas soporten diferentes formatos de información, por lo que, si se quiere lograr establecer una comunicación entre estas, a través de un ESB, es necesario que este tenga soporte, para trabajar en los formatos que utilicen los sistemas y tenga funcionalidades para transformarlos de unos a otros [18].

Balanceo de carga: con la implementación de esta capacidad, el ESB puede registrar la dirección de varios servidores en los que está desplegado un servicio web, con el objetivo de prevenir que fallos en uno de estos, afecte su disponibilidad. Esta capacidad se puede implementar, además, basada en el contenido de un mensaje cuando, en dependencia de parámetros definidos para este, se envía a colas de mensaje u otros

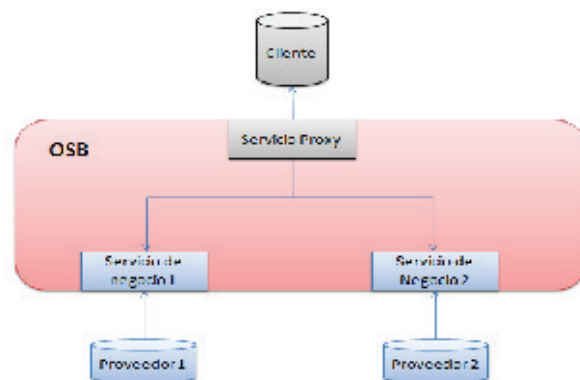


**Fig. 2.** Conceptos que se relacionan en un flujo de Mule ESB. Fuente: Elaboración propia

#### 4.1. Herramienta MULE ESB.

Mule ESB es un proyecto de software libre desarrollado por Ross Mason perteneciente a la compañía MuleSoft, actualmente se encuentra en su versión 3.4. Mule ESB es un *framework* de mensajería ligera basada en Java que permite la rápida conexión e intercambio de datos entre aplicaciones [19]. Mule permite a los desarrolladores integrar sus aplicaciones e intercambiar datos sin tener en cuenta las tecnologías y maneja todas las interacciones entre aplicaciones y componentes de manera transparente sin importar los protocolos de transporte utilizados (JMS, Web Services, JDBC, HTTP, FTP, SMTP). Permite la publicación y la invocación de servicios web de tipos REST y SOAP, haciendo uso del *framework* CXF [20]. Adicionalmente posibilita hacer transformaciones de mensajes incluyendo XSLT. Se integra con proyectos como Maven y Spring que garantizan una correcta estructuración de los proyectos y configuración de objetos en los flujos ESB respectivamente.

Mule provee herramientas de apoyo a los desarrolladores para la creación y configuración del fichero XML que contiene la definición de los flujos Mule. Este es el caso de la herramienta *Eclipse*, que a través de *plugins* se pueden desarrollar proyectos de tipo ESB y de la herramienta *MuleStudio* que está basada también en Eclipse y brinda un conjunto de componentes gráficos que hace más fácil el diseño de los flujos.



**Fig. 3.** Servicios de negocio y servicios proxy en Oracle Service Bus [25].

Tal y como se muestra en la Fig. 2 para el desarrollo de flujos Mule, se hace necesario definir un flujo principal, en el cual se definen flujos y estos a su vez pueden tener asociados un conjunto de subflujo, esto con el objetivo de lograr una mejor organización del flujo principal. Además cada flujo y/o sub flujo está compuesto por componentes enrutadores, transformadores, de tipo *endpoint*, y lógicos. Además se pueden declarar elementos globales que son también componentes, pero se pueden utilizar a nivel del flujo Mule y no en cada flujo o subflujo que se defina.

Mule ESB en su versión Enterprise cuenta con una consola de administración (MMC) que actúa como servidor ESB, que brinda la posibilidad de monitorear y gestionar los distintos flujos de las aplicaciones que son desplegados en el ESB. Este producto permite visualizar los recursos de las aplicaciones implementadas, dígame flujos, componentes y mensajes que se intercambian entre componentes, además del estado del servidor en cuanto a consumo de recursos físicos de donde ha sido desplegado.

#### 4.2. Herramienta OSB

OSB es un programa desarrollado por la compañía BEA System, y adquirido, posteriormente, por la compañía Oracle. Este permite conectar cualquier servicio utilizando estándares de servicios web, protocolos de mensajes tradicionales y transportes personalizados adaptables a un entorno empresarial determinado [21].



```
Parámetros de entrada: año, grupo
lista de ids = invocar get_ListStudentIdentificationByLoadFilter con año y grupo
para cada id en lista de ids
    id = lista de ids en índice actual
    datosPersonales = invocar getStudentFilePersonalData con id
    promedio = invocar getStudentEvaluationAverage con id
    datosEstudiante = datosPersonales y promedio
    listaDatos en índice actual = datosEstudiante
devolver listaDatos
```

Fig. 4. Seudocódigo con la lógica de orquestación de los servicios web analizados.

Fuente: Elaboración propia

OSB tiene la capacidad de soportar diversos protocolos para servicios web como son HTTP/SOAP, WS-I, WS-Security, WS-Policy, WS-Addressing, EJB/RMI. En WebSphere, SOAP v1.1 y v1.2. Este también acepta mensajes en SOAP v1.1 y los convierte en SOAP v1.2 cuando el servicio destino lo requiere. Para la integración de aplicaciones incorpora conectores para MQ Series, CICS, .NET, C y C++ de forma nativa [21]. Provee un entorno para el modelado del flujo de mensajes donde permite configurar los servicios, modelarlos, sincronizarlos a través del registro de servicios y validar los mensajes. También soporta transformación de mensajes y llamadas a servicios de proveedores externos.

OSB se integra mediante un *plug-in* a la herramienta eclipse, el cual habilita un entorno gráfico para el desarrollo del flujo de mensaje. Una de sus capacidades consiste en que este entorno gráfico es donde se configura la lógica del enrutamiento de los mensajes basándose en su contenido y se validan los mismos [22, 23].

Una de las ventajas de OSB es que implementa por defecto un servicio para la gestión, el cual permite monitorear el envío de todos los mensajes. La consola de administración de la herramienta provee una vista unificada donde se muestra el estado de todas las aplicaciones que se encuentran desplegadas y el monitoreo de los servicios [24, 25].

Para la implementación de sus capacidades, la herramienta se basa en dos conceptos principales, los servicios de negocio y los servicios proxy. Los primeros son la representación de los servicios de las aplicaciones desplegadas con las cuales se desea

intercambiar información. Este recurso permite realizar configuraciones como el transporte a utilizar con la aplicación destino, políticas de seguridad, entre otras [24]. Por otra parte, el servicio proxy es uno de los principales elementos dentro de la arquitectura de OSB. Estos se convierten en la interfaz que utilizan los consumidores para conectarse con los proveedores de servicios. Una de las ventajas que posee, es que permite definir flujos de mensajes, en el cual se puede implementar lógica para encaminar los mensajes a múltiples servicios de negocios [24].

Oracle Service Bus soporta estándares abiertos con el objetivo de asegurar la integridad y privacidad de las comunicaciones y que solo los usuarios autorizados puedan acceder a los recursos en un dominio OSB[21]. La herramienta utiliza el *framework* de seguridad de su servidor de aplicaciones Weblogic server como base para sus servicios de seguridad. El modelo de seguridad de Oracle Service Bus incluye la Seguridad inbound (de entrada), outbound (de salida) y administrativa. Mediante la configuración de la seguridad inbound se asegura que los servicios proxy gestionen solo las peticiones que provienen de usuarios autorizados. Esta se configura cuando los servicios que se exponen en OSB para los clientes; deben ser asegurados debido a las características de la información que se gestiona. La seguridad outbound, por otra parte, se aplica cuando los servicios que proveen las aplicaciones proveedoras tienen implementados requisitos de seguridad. Por último la configuración de seguridad administrativa permite restringir el acceso a funciones dentro de Oracle Service Bus mediante el establecimiento de roles con privilegios de seguridad predefinidos [21].

Por su rol como intermediario, la herramienta OSB define dos conceptos fundamentales que intervienen verticalmente en todas las capas de su arquitectura funcional.

**Servicio de Negocio:** son la representación de los servicios de las aplicaciones desplegadas con las cuales se desea intercambiar información, en OSB. Este recurso permite realizar configuraciones como el transporte a utilizar con la aplicación destino, políticas de seguridad, entre otras [21, 26].

**Servicios Proxy:** constituye uno de los principales elementos dentro de la arquitectura de OSB. Estos se convierten en la interfaz que utilizan los consumidores para conectarse con los proveedores de servicios. Una de las ventajas que posee, es que per-

mite definir flujos de mensajes, en el cual se puede implementar lógica para encaminar los mensajes a múltiples servicios de negocios [21, 26].

De manera general los dos tipos de servicio colaboran entre sí en la implementación de un escenario de integración determinado; los primeros representando a los servicios de las aplicaciones que tienen el rol de proveedor y los segundos, construyendo, a través de la configuración de un flujo de mensaje donde se invocan a los servicios de negocio, las funcionalidades que requieren las aplicaciones con el rol de clientes. La Fig. 2 ilustra esta relación.

#### 4.3. Implementación de un escenario de integración con las herramientas Mule ESB y OSB

El sitio web de la Intranet de la Facultad de Ingeniería Informática de la CUJAE está creado con el objetivo de gestionar la información asociada a los procesos de gestión de la Facultad. La versión actual tiene implementados un mecanismo de actualización que se basa en una filosofía de colaboración y participación al otorgar roles y permisos asociados a usuarios desde estudiantes a trabajadores docentes y no docentes con el objetivo de modificar la información y garantizar así la constante renovación y actualidad de la misma [27]. Este mecanismo tiene que ir aparejado con una campaña de motivación de estas personas a cooperar, lo que no se ha realizado con el nivel de profundidad requerido. Por estas razones hemos identificado al sitio web como fuente de buenos escenarios de utilización de servicios web tanto simples como compuestos. Uno de los requisitos funcionales identificados relativo a la información de cada estudiante es que, dado un grupo de la Facultad, se obtengan los datos personales con el promedio de sus estudiantes.

Por otra parte el Sistema de Gestión Universitaria (SIGENU) es el sistema informático para la gestión del proceso docente que se utiliza en la Cujae la cual expone sus funcionalidades a través de servicios web. Un estudio exploratorio de estos servicios web arrojó que no existe ninguno que directamente satisfaga el requisito funcional del portal de la Intranet de la Facultad de Ingeniería Informática. Aun así se identificaron algunos que combinados (orquestrados) pueden obtener el resultado deseado. La tabla siguiente muestra la descripción de estos servicios.

**Tabla 1. Descripción de los servicios web de sigenu identificados** (fuente: elaboración propia)

Nombre del servicio	Nombre de la operación	Descripción
ListStudentId ByFilter	getListStudent Identification ByLoadFilter	Devuelve un listado con los CI de los estudiantes dado un filtro
FileStudent Service	getStudentFile PersonalData	Devuelve información personal del expediente de un estudiante dado su carnet de identidad (CI).
Evaluation Student Service	getStudent Evaluation Average	Devuelve el promedio general de un estudiante dado su CI.

Los servicios web anteriores están implementados utilizando la tecnología JAX-WS; requieren autenticación básica y dos de ellos, además, utilizan certificados de seguridad.

La Fig. 4 muestra un pseudocódigo que define la lógica de orquestación para los servicios web descritos anteriormente y que soluciona el requisito funcional analizado en este escenario de integración.

#### 4.4. Orquestación con la herramienta Mule ESB

Para la orquestación de los servicios en la herramienta Mule ESB se diseñó un flujo principal encargado de hacer transformaciones de datos y coordinar las llamadas a tres subflujos responsables de invocar los servicios web a orquestar.

Como punto de entrada al flujo principal se utilizó el componente HTTP al igual que para acceder a los servicios del proveedor SIGENU. Esto implica la definición de HTTP como protocolo de comunicación a utilizar.

Durante el proceso de diseño de orquestación se hizo necesario utilizar algunas transformaciones al mensaje en el flujo, para lo que se utilizaron los componentes:

*Body to Parameter Map* con el objetivo de transformar la solicitud HTTP a un mapa de parámetros y así obtener los valores de entrada a la orquestación; el componente *Groovy* para elaborar el objeto complejo que requiere uno de los servicios a consumir en el componente Java para confeccionar el objeto de respuesta de la orquestación y el componente *Object to XML* para dar como respuesta de la orquestación un XML con los datos requeridos.

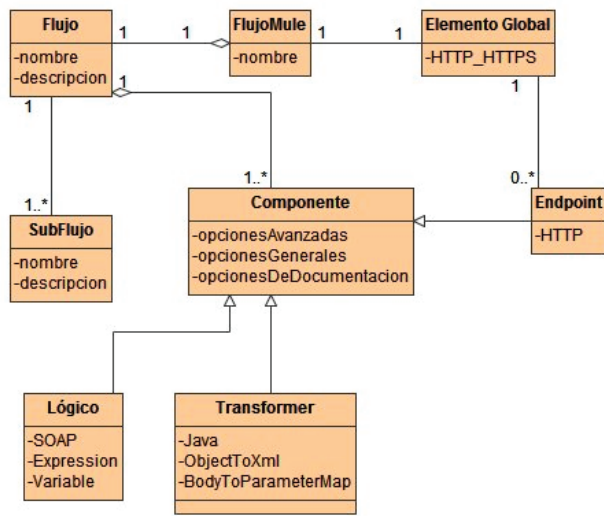


Fig. 5. Relación entre los componentes utilizados para la orquestación en Mule ESB. Fuente: Elaboración propia.

Para indicar las operaciones a consumir de las interfaces de servicios se recurrió al componente SOAP ya que este es el protocolo de encapsulamiento de los mensajes. Además se utilizó el componente *ForEach* para recorrer la lista de objetos resultantes de la invocación de uno de los servicios web.

Debido a que los tres servicios a consumir de SINGENU requieren autenticación básica y dos de ellos certificados de seguridad se tuvo en cuenta crear un elemento global en el flujo del tipo HTTP\_HTTPS, donde se especifica la dirección física del certificado, así como las credenciales tanto para el certificado como para la autenticación básica.

El diagrama de la Fig. 5 muestra la relación entre los componentes utilizados en la orquestación.

#### 4.5. Orquestación con la herramienta OSB

Como resultado de la implementación del escenario de integración se obtendrá un servicio cuyo resultado va a ser la combinación de los resultados de tres servicios web. Para esto se crearon tres servicios de negocio correspondientes a los servicios que se quieren orquestar; para cada uno de estos se configuró la seguridad outbound de acuerdo con sus requisitos. Para el servicio que tiene autenticación básica se configuró un componente *Service Account* con las credenciales para su acceso; y se configuró el componente *Service Key Provider* en los servicios de negocio que utilizan certificados digitales como mecanismo de seguridad. Una vez configurados los

servicios de negocio, se crea el servicio proxy, que va a utilizar el protocolo SOAP para representar los mensajes de petición y respuesta del mismo. En la configuración de este servicio es donde se define el flujo del mensaje, que indica las acciones a realizar cuando este se invoca. Estas acciones comprenden, de forma general, el llamado a los servicios de negocio creados y la unión de los valores obtenidos para conformar el resultado inicial. En esta orquestación se pueden invocar dos servicios de negocio de forma paralela por lo que se utilizó el componente *Split-Join* para realizar este proceso ya que contiene el nodo *Parallel* que permite realizar llamadas concurrentes a servicios. Además se utilizaron las acciones *Assign* para asignar los valores de los parámetros de entrada del servicio proxy y las peticiones SOAP a los servicios, a variables dentro del contexto del mensaje. Para realizar el llamado a los servicios de negocio se utilizó el nodo *Service Invoke* al cual se le configura el servicio de negocio y la operación que se va a invocar; y con el objetivo de iterar sobre los valores de retorno de estos se utilizó el nodo *For Each*. Por último se realizó una transformación de los resultados obtenidos del proceso de invocar los servicios de negocio hacia el resultado final, utilizando el componente *XQuery Mapper* basado en lenguaje de consulta XQuery. La Fig. 6 muestra un diagrama de clases donde se relacionan los componentes utilizados en la solución descrita

### 5. TRABAJOS RELACIONADOS

Por la naturaleza multiprotocolo de la tecnología ESB su utilización se ha evaluado en disímiles sectores donde ha sido necesario integrar información. Específicamente en el área de gestión de procesos universitarios, se encontró que en [1] se propone una estrategia para la interoperabilidad entre aplicaciones utilizando esta tecnología, la que fue evaluada, con buenos resultados, tomando como caso de estudio la integración de diferentes sistemas que interactúan con el entorno docente del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (CUJAE). En [28] se propone la utilización de una herramienta ESB para la integración de sistemas IT en la Universidad Comenius en Bratislava, al igual que en UCLA [29] y en la Universidad de Birmingham; esta última persiguiendo el objetivo de contribuir con el funcionamiento de la existente Arquitectura Orientada a Servicios que a su vez sirve de apoyo para la concepción de edificios inteligentes en el campus universitario [30].



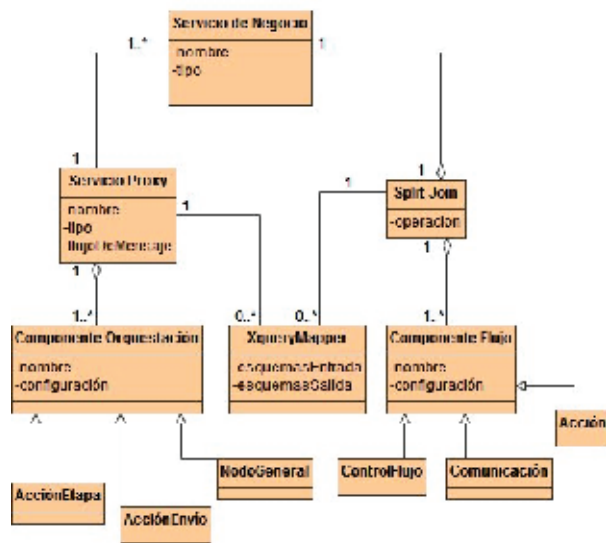


Fig. 6. Relación entre los componentes utilizados para la orquestación en OSB. Fuente: Elaboración propia.

Otra área donde la aplicación de un Bus de Servicios Empresariales se ha estudiado es en la salud, donde aparecen trabajos como el de [31], que ha propuesto una arquitectura basada en SOA con ESB como facilitador tecnológico para resolver los problemas de centralización y aislamiento de los sistemas de salud basados en el paciente en Sudáfrica. Además, una revisión sistemática de la literatura acerca de SOA para el soporte de toma de decisiones clínicas se realizó en [32] donde se refiere la utilización de las capacidades de la tecnología ESB para identificar patrones de distribución de pacientes y servicios de salud en regiones particulares utilizando el sistema Infoway [33]; también para el apoyo a los procesos de la unidad de cuidados intensivos a través de los sistemas HEARTFAID [34], COSARA [35] y para la prevención de enfermedades crónicas con el sistema SOCBes [36].

En la web existen muchos ejemplos de aplicaciones de la tecnología ESB donde mayormente se explotan sus capacidades de orquestar servicios, soporte de múltiples protocolos, seguridad, transformación de datos y monitoreo. Además que es un concepto bastante apoyado por la industria ya que existe una gran variedad de sistemas ESB que ofrecen diferentes niveles de funcionalidades; en este artículo se han analizado dos de estos.

## 6. TRABAJOS FUTUROS

Con este trabajo se ha tenido el objetivo de proponer un conjunto de componentes de orquestación de servicios que brindan las herramientas del estudio para solucionar un escenario de integración determinado. Para trabajos futuros quedan, dentro de la capacidad referida, investigar otros componentes y su aplicación en otros tipos de escenarios de integración, extendiéndose la investigación a otras capacidades de la tecnología ESB.

## 7. CONCLUSIONES

El trabajo con Mule ESB, no es tan engorroso debido a que cuenta con una herramienta de apoyo visual para el diseño del flujo ESB, denominada Mule Studio. Los componentes con que cuenta Mule Studio abarcan en su gran mayoría las principales acciones que se quieren realizar dentro del flujo, siendo el caso de recorrer el mensaje que viaja entre componentes, la posibilidad de definir variables dentro del flujo y poder utilizarlas en cualquier punto del mismo. Al contener un componente como el DataMapper nos da la oportunidad de realizar transformaciones tales como de un POJO a XML, de XML a JSON, entre otras tantas.

En cuanto al tratamiento de la seguridad no existen grandes inconvenientes para el consumo de servicios que hacen uso de la autenticación básica y de certificados de seguridad. El despliegue es sencillo y demanda pocos recursos de hardware y software.

La herramienta Oracle Service Bus cuenta con un conjunto de componentes para configurar la lógica de procesamiento de mensajes, el cual ocurre a través de consultas en los lenguajes XQuery y XPath sobre una estructura de mensaje definida por la herramienta. Los componentes abarcan un conjunto de funcionalidades como insertar, eliminar, validar y reescribir partes del mensaje, invocar servicios de forma secuencial o de forma paralela, crear variables para trabajar con partes del mensaje, recorrer colecciones de objetos, hacer transformaciones de tipos de datos, entre otras.

Por otra parte, el tratamiento de la seguridad en OSB es un proceso complejo que requiere de especialistas adiestrados en el tema, porque hay que tener en cuenta que la herramienta basa su esquema de se-

guridad en el del servidor de aplicaciones *weblogic* y que además puede importar políticas de seguridad realizadas en otras herramientas.

La utilización de la tecnología ESB demanda amplios conocimientos de las características técnicas del entorno en que se aplica y requiere de un equipo multidisciplinario adiestrado en varios temas como desarrollo de servicios web en varias tecnologías, tratamiento con lenguajes estándares basados en XML, cuestiones de seguridad, entre otros.

## REFERENCIAS

- [1] M. Díaz Rosales, "Estrategia para la interoperabilidad entre aplicaciones a través de un Bus de Servicios Empresariales" in *MSc.dissertation, directed by D.J.M. Prieto*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana. 2012.
- [2] Microsoft, MSDN. *Introduction to the Microsoft ESB Guidance*. Jun 2015. URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff648282.aspx>.
- [3] K. Vollmer, "The Forrester Wave: Enterprise Service Bus, Q2 2011", 2011. Disponible en: [http://semanticcommunity.info/@api/deki/files/17783/2011\\_forrester-esb-wave.pdf](http://semanticcommunity.info/@api/deki/files/17783/2011_forrester-esb-wave.pdf)
- [4] J. Dirksen, T. Rademakers & . "Open-Source ESBs in Action Example Implementations in Mule and Service Mix". New York: Manning Publications Co, 2008. ISBN: 1933988215
- [5] Dalila Kindelan Castro, Deborah Oliva Alfonso. "Informe Técnico sobre la Integración de Información". *Complejo de Investigaciones de Tecnologías Integradas*, 2011.
- [6] Geebelen, Kristof. "Adaptive Workflow Composition in Service-Based Systems". *Doctorate. dissertation, directed by Dr. ir. W. Joosen & Dr. E. Truyen*. Katholieke Universiteit Leuven. Belgium. 2012.
- [7] Barai, Vincenzo Caselli, Binildas C. A. & Malhar. "Web Services and SOA". *Service Oriented Architecture with Java*. Birmigham: Packt Publishing, 2008.
- [8] W3C. *Web Service Architecture*. 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>.
- [9] Mehta, Bhakti. "RESTful Java Patterns and Best Practices". Birmigham: Packt Publishing, 2014. isbn: 978-1-78328-797-0
- [10] Erl, Thomas. "SOA Principles of Service Design". Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2007. isbn: 0132344823
- [11] Trcek, Damjan Kovac; Denis."A Survey of Web service Orchestration and Choreography with Formal Models", 2011.
- [12] B.Juric, Matjaz. *A Hands-on Introduction to BPEL*. 2009. URL: <http://www.oracle.com/technetwork/articles/matjaz-bpel1-090575.html>.
- [13] W3C, Web Services Choreography Description Language Version 1.0. 2005, W3C.
- [14] W3C, Web Service Choreography Interface (WSCI), 2002, W3C.
- [15] OASIS. "Business Process Execution Language for Web Services Version 2.0", 2007. Disponible en: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>
- [16] Chappell, David. "Enterprise Service Bus". Sebastopol: O'Reilly, 2004. isbn: 978-0-596-55650-1
- [17] Centeractive. *Centeractive. Enterprise Service Bus*, 2012. URL: <http://www.centeractive.com/content/enterprise-service-bus>.
- [18] Microsoft. "Guidelines for Application Integration". Microsoft Press, 2004. isbn:
- [19] Mulesoft, *Introducing Mule Concepts*, 2012.
- [20] D. Dossot, J. D'Emic & V. Romero. "Mule in action, Second Edition". New York: Manning Publications Co, 2014. isbn: 9781617290824
- [21] Floyd Jones, Legacy authors, "Concepts and Architecture for Oracle Service Bus". 2010, ORACLE.

- [22] Rieber, Jeff Davies; David Schorow; Samrat Ray & David, *The Definitive Guide to SOA: Oracle Service Bus, Second Edition*, S. Anglin, Editor. Apress: Berkeley, California, 2008, p. 524.
- [23] Herrera, Arianna Tomé Ulloa; Remeberto. "Evaluación Crítica de Oracle Service Bus". *Ing.dissertation, directed by I.D.O. Alfonso*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, 2010.
- [24] Authors, Floyd Jones & Legacy, "Oracle Fusion Middleware Developer's Guide for Oracle Service Bus", ORACLE, 2010.
- [25] Valdés, Eva Flores, "Implementación de lenguajes de contrato electrónico en Oracle Service Bus," in *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2015, UCI: La Habana p. 63-77.
- [26] Jeff Davies, David Schorow, Samrat Ray, David Rieber. "The Definitive Guide to SOA: Oracle Service Bus, Second Edition". New York: Apress, 2008. isbn:
- [27] Castillo, Isela Mendoza del. "Particularidades de la Implementación del Back-End para un Sistema de Información en Ambiente Web. Caso de Estudio: Intranet de Ingeniería Informática". *Ing. dissertation, directed by D.F.O.F. Peña*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría. La Habana. 2010.
- [28] Pálos, Pavol Mederly; Gustav, "Enterprise Service Bus at Comenius University in Bratislava, in Advances in Software Engineering Techniques," *4th IFIP TC2 Central and East European Conference on software Engineering Techniques, CEE-SET 2009 2008*, Springer: Krakow, Poland.
- [29] UCLA IT Services, "UCLA Enterprise Service Bus". 2013. URL: <http://www.csg.ucla.edu/documents/2010/esbproposalandarchitecture2013-05-28.pdf>
- [30] S. Hipwell, "Developing smart campuses—A working model," in *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, 2014.
- [31] H. D. Masethe, O. O. Olugbara, S. O. Ojo & A. O. Adewuni, "Integration of Health Data using Enterprise Service Bus," In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science San Francisco, USA*, 2013.
- [32] Huser, S. Rodríguez Loya, Kensaku Kawamoto; C. Chatwing, Vojtech. "Service Oriented Architecture for Clinical Decision Support: A Systematic Review and Future Directions". *Journal of Medical Systems*, vol. 38, no.12, 2014.
- [33] Sartipi K, Yarmand MH, Down D. G., "Mined-Knowledge and Decision Support Services in Electronic Health in International Workshop on Systems in SOA Environments SDSOA '07: ICSE Workshops 2007". IEEE: Minneapolis. p. 10, 2007.
- [34] Calemis, Achilles Kameas; Ioannis. "Pervasive Systems in Health Care," *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environment*, Springer US, pp. 315-346, 2010. doi: 10.1007/978-0-387-93808-0\_12
- [35] Turck, Bruno van de Bossche; Sofie van Hoecke; Chris Danneels, J. Decruyenaere, B. Dhoedt, Filip de. "Design of a Jain SLEE/ESB- based platform for routing medical data in the ICU". *Computer Methods and Programs in biomedicine*, vol.91, pp.265-277, 2008.
- [36] Serhani, Abdelghani Benharret; Mohamed Adel, "Novel cloud and SOA- Based framework for E-health monitoring using wireless biosensors". *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol.18, no.1, pp.46-55, 2014.

**ARTÍCULOS DE REFLEXIÓN  
ANALÍTICA E INTERPRETATIVA**

# Producción, Reservas y Sostenibilidad de la Energía en Venezuela

## Production, Reserves and Sustainability of Energy in Venezuela

**Juan Carlos Rojas-Zerpa, Ph.D.**

*Escuela de Diseño Industrial  
Universidad de Los Andes (ULA)  
Mérida, Venezuela  
juancrojas@ula.ve*

**José María Yusta-Loyo, Ph.D.**

*Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Zaragoza  
Zaragoza, España  
jmyusta@unizar.es*

(Recibido el 01-05-2015. Aprobado el 01-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

J. C. Rojas-Zerpa, J. M. Yusta-Loyo, "Producción, Reservas y Sostenibilidad de la Energía en Venezuela", Lámpsakos, N° 14, pp. 52-60, 2015

### Resumen

El propósito del presente trabajo está relacionado con la evaluación de los recursos energéticos de Venezuela y su posicionamiento estratégico mundial, referido principalmente a las reservas, producción y consumo de energía primaria. Así mismo, se han evaluado las fuentes de energías renovables con la finalidad de identificar oportunidades para el desarrollo de la energía sostenible. Los resultados indican que Venezuela posee recursos fósiles para más de 130 años de explotación, lo cual lo convierte en una potencia energética relevante en el contexto mundial. La potencialidad aprovechable de las energías renovables duplicó la producción de recursos fósiles en 2011. En la actualidad, el aprovechamiento de estas fuentes es inferior al 2 % del total disponible, lo que deja abierto un amplio rango de oportunidades para la diversificación de la matriz energética nacional mediante tecnologías limpias o sostenibles.

**Palabras clave:** energía; energía sostenible; potencia energética; recursos energéticos; Venezuela.

### Abstract

The purpose of this work is related to the overall assessment of the energy resources of Venezuela and its global strategic positioning, mainly concerned with the production and consumption of primary energy and reserves. Likewise, we have evaluated the renewable energy resources in order to identify opportunities for sustainable energy development. The results indicate that Venezuela has fossil resources for more than 130 years of exploitation, making it an important energy power in the global context. The exploitable potential of renewable energy resources doubled the fossil fuel production in 2011. The current use of these sources is less than 2 % of the total renewable energy available, which leaves open a wide range of possibilities for diversification of the national energy mix through clean or sustainable energy.

**Keywords:** energy; energy power; energy resources; sustainable energy; Venezuela

## NOMENCLATURA

CH<sub>4</sub>: Metano  
CO: Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono  
Mbep: Millones de barriles equivalentes de petróleo  
NO<sub>x</sub>: Óxidos de Nitrógeno  
OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries  
PIB: Producto Interno Bruto  
PODE: Petróleo y Otros Datos Estadísticos  
SEN: Sistema Eléctrico Nacional  
SO<sub>2</sub>: Dióxido de Azufre

## 1. INTRODUCCIÓN

Venezuela es un país con gran tradición petrolera. Una de sus características más importante está relacionada con la disponibilidad de grandes reservas de petróleo crudo, gas natural y carbón mineral, los cuales representan los tres recursos primarios fósiles más relevantes en el actual modelo de crecimiento socio-económico mundial y de América Latina.

Actualmente Venezuela tiene una privilegiada posición mundial respecto a los altos volúmenes de exportación de petróleo crudo, gas natural líquido y carbón. Estos recursos y sus oportunidades de negocio convierten a Venezuela en un país altamente dependiente de la venta y comercialización de energía primaria.

La alta dependencia de la renta petrolera ha descuidado o limitado el aprovechamiento de otros recursos energéticos como las fuentes de energías renovables no convencionales.

En Venezuela, al igual que en los países de América Latina, las posibilidades de diversificación de la matriz energética con fuentes no tradicionales son significativas. No obstante, son pocos los países que vienen dando pasos concretos en esta área estratégica.

A continuación en los siguientes apartados se describe el sistema energético venezolano, donde se identifican las fuentes de energía primaria, el consumo interno y el balance de oferta y demanda. Posteriormente se analizan los resultados con la intención de identificar oportunidades para la diversificación de la matriz energética inherente a la consecución de un modelo de energía sostenible.

## 2. EL SISTEMA ENERGÉTICO VENEZOLANO

En relación con el propósito de la investigación, a continuación se describen los principales aspectos del actual sistema energético venezolano, en particular lo concerniente a la producción y consumo de energía primaria, incluida la potencialidad aprovechable de las fuentes renovables: convencionales (hidráulica de gran escala) y no convencionales.

### 2.1. Producción de energía primaria

El sistema energético venezolano está ampliamente dominado por la existencia de recursos fósiles tales como: petróleo, gas natural (seco y líquido) y carbón mineral. Las grandes reservas de petróleo crudo y gas natural, así como también la elevada tasa de producción de petróleo han posicionado a Venezuela dentro del grupo de los 10 países más importantes del mundo. Los últimos hallazgos de yacimientos de petróleo han elevado las reservas comprobadas hasta una magnitud de poseer la quinta parte de todo el petróleo existente en el planeta. La producción de gas natural, la capacidad de refinación y productos refinados ubican a Venezuela en el top de los 28 países más influyentes. Estos atributos confieren a Venezuela un estatus, al menos en el aspecto energético, de gran importancia mundial (Tabla 1).

En la tabla 1 se observa el notable posicionamiento energético de Venezuela en el contexto regional de América Latina. Las altas reservas y niveles de producción de gas natural y petróleo crudo, y la manufactura de productos refinados destacan el indiscutible peso que posee el país dentro de la región.

A continuación se describe la evolución de la producción de energía primaria durante los últimos años: 2000 – 2011 (Fig. 1).

De la fig. 1, el petróleo ha sido la principal fuente de producción de energía primaria, seguido del gas natural y la hidroenergía. Cabe destacar el rol preponderante que ha tenido la energía hidroeléctrica como fuente de energía no contaminante.

Los valores de producción de energía primaria demuestran la dominancia del petróleo dentro de la matriz energética nacional. Por ejemplo, para el año 2011 el petróleo alcanzó un nivel de producción de hasta 3,4 veces respecto al gas natural y 20,2 veces en comparación con la hidroenergía (Tabla 2).



**Tabla 1.** Producción de energía primaria y reservas de Venezuela referido al contexto mundial y Latinoamericano (2014)

Concepto	Mundial (%)	Ranking mundial	Latino-américa (%)	Ranking Latinoamericano
Reservas de petróleo crudo	20,09	1	87,65	1
Reservas de gas natural	2,79	8	70,13	1
Producción de petróleo crudo	3,65	6	27,58	1
Producción de gas natural	0,61	27	10,02	4
Capacidad de refinación	1,98	13	22,20	2
Producción de productos refinados	1,33	19	16,76	3

Fuente: Elaboración propia con datos de OPEC [1]

1m<sup>3</sup> de gas natural equivale 0,0061 bep; 1 barril de petróleo equivale a 1,07 bep

N.A: No aplica

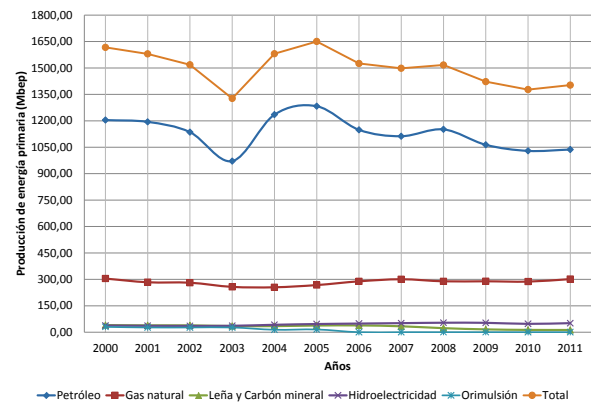
S/I: Sin información

Sin embargo, en los últimos años, la producción de petróleo se ha venido desacelerando significativamente, mientras que la producción de gas natural se ha mantenido casi constante. En contraste, la hidroenergía ha experimentado un ligero crecimiento.

En términos absolutos para el año 2011, la producción total de energía primaria se contrajo 7,12 % respecto al valor promedio del período 2000-2010. En comparación con los dos últimos años, la energía primaria se incrementó 1,86 % (año 2010) y disminuyó 1,38 % respecto al 2009. Cabe destacar que los dos últimos valores de energía primaria total representan el segundo y tercer peor registro en los últimos 11 años.

## 2.2. Potencialidad aprovechable de las energías renovables en Venezuela

Venezuela es un país tropical bastante cercano al Ecuador, el cual está localizado entre las bandas de latitudes norte 1° y 12° (cerca de Brasil, Colombia y Mar Caribe). Su relevante posición geográfica le confiere extraordinarias condiciones climatológicas y la existencia de importantes recursos naturales (Fig. 2).

**Fig. 1.** Resumen de la producción de energía primaria en Venezuela. Datos tomados de PODE [2]**Tabla 2.** Producción de energía primaria y reservas probadas de Venezuela, 2011

Fuentes	Producción (Mbep)	Relación (%)	Reservas (Mbep)	Duración de reservas (años)
Petróleo crudo	1.036,97	73,93	318.400,97	273,30
Gas natural	301,49	21,49	33.724,71	131,00
Carbon y leña	12,78	0,91	S/I	S/I
Hidroenergía	51,47	3,67	S/I	N.A
Orimulsión	-	-	-	-
Total	1.402,70	100,00	-	-

Fuente: Elaboración propia con datos de PODE [2]

Los recursos energéticos renovables, es decir, no agotables, son relativamente abundantes en el país. Los estudios oficiales preliminares indican que existe un gran potencial aprovechable [3]. De hecho, si se compara con los niveles actuales de producción de petróleo es equivalente a 3,2 veces (año 2011). Esta notable abundancia de recursos renovables incrementa significativamente la riqueza energética del país, muy conocida internacionalmente por el petróleo. De igual manera genera un importante campo de posibilidades para diversificar la matriz energética nacional (Tabla 3).

Desde el punto de vista de distribución de las energías renovables sobre el territorio venezolano (Fig. 3), la energía solar se destaca como el recurso con mayor potencialidad aprovechable, siendo abundante en casi todo el territorio nacional. La radiación solar incidente registra valores diarios de energía mayor o igual a 4,4 kWh por m<sup>2</sup> [5], los cuales son valores relativamente significativos para su aprovechamiento



en forma activa y pasiva. El aprovechamiento activo implica la conversión de la radiación directa, difusa y albedo en electricidad y calor. Mientras que el aprovechamiento pasivo comprende la transferencia de calor para la calefacción o refrigeración de viviendas unifamiliares y multifamiliares, edificaciones gubernamentales y comerciales, así como también naves industriales.

En las costas venezolanas se obtienen registros importantes de velocidad del viento. En los estados Falcón, Zulia y Nueva Esparta, los valores promedio medidos en las diferentes estaciones meteorológicas son mayores o iguales a los 5 m/s (mediciones a 10 m sobre el suelo) [6], llegándose a registrar en el mejor de los casos velocidades superiores a los 7 m/s [5]. La magnitud de estos vientos alisios podría permitir el desarrollo de la energía eólica a mediana y gran escala (grandes parques eólicos con potencias en el orden de las decenas o centenas de megavatios), originando oportunidades para la electrificación de zonas urbanas y periurbanas con ligeras o profundas deficiencias en la calidad y cantidad del suministro eléctrico, así como también la estabilización del sistema eléctrico nacional mediante el aumento de capacidad en la oferta de generación. De igual manera, la instalación de pequeños aerogeneradores (mini-eólica) en zonas aisladas, ya sean rurales o remotas, permitirían incrementar la cobertura del servicio eléctrico, que en la actualidad es superior al 99,5 % [7]. Entre las ventajas del aprovechamiento de la energía eólica en áreas rurales o remotas, existe la opción de emplear un recurso local (descentralizado) a menor costo y mayor eficiencia en comparación con un sistema centralizado (redes eléctricas). De igual manera se evita la extensión de grandes redes de distribución, que además de sus elevados costos (inversión y mantenimiento), implican impactos ambientales (construcción, mantenimiento y desmantelamiento).

En los Andes (al occidente del país), la conformación orográfica del terreno origina saltos hidráulicos y caudales relativos importantes para desarrollar la energía minihidráulica, es decir, la conversión de energía cinética y potencial del agua en electricidad. Una distribución de estas centrales se muestra en la fig. 4.

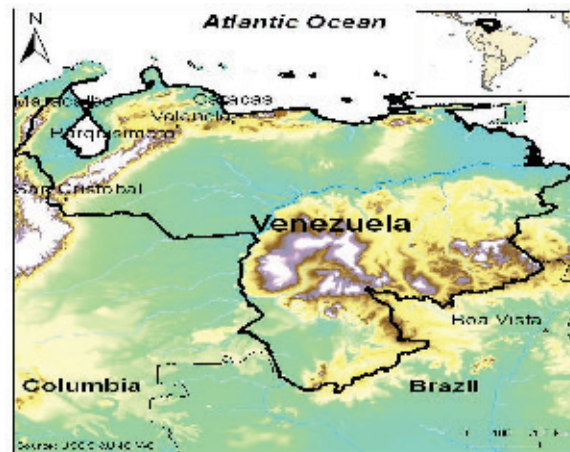


Fig. 2. Mapa de Venezuela [4]

Tabla 3. Potencialidad de las energías renovables de Venezuela

Fuentes	Potencialidad (Mbep)	Energías Renovables no Convencionales (%)	Potencialidad Energías Renovables (%)
Mini-hidráulica (hasta 50 MW)	47,45	1,83	1,45
Bioenergía	124,1	4,78	3,79
Solar (15% conversión)	1664,4	64,04	50,78
Eólica (3% conversión)	514,65	19,80	15,70
Geotérmica	54,75	2,11	1,67
Otras energías renovables	193,45	7,44	5,90
Gran hidroeléctrica	678,9	-	20,71
Total	3.277,70	100,00	100,00

Fuente: elaboración propia con datos de [3]

Con el aprovechamiento de la energía minihidráulica se podría ofrecer el servicio eléctrico a aquellas poblaciones aisladas geográfica o energéticamente: zonas rurales y remotas. Su desarrollo evitaría la extensión de grandes redes de distribución del sistema eléctrico nacional (SEN). La eficiencia de los dispositivos que convierten la energía hidráulica a mecánica y eléctrica están por el orden del 80 %, incluso existen equipos de alta eficiencia que se acercan al 90 % de rendimiento [8]. Las turbinas hidráulicas de pequeña y gran potencia son los equipos más eficientes, a nivel comercial, en el contexto de las tecnologías renovables.

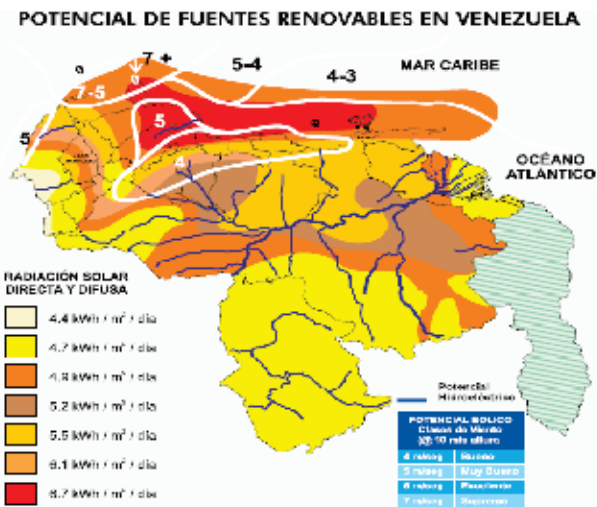


Fig. 3. Mapa de potencialidad de las energías renovables en Venezuela [5]

Adicionalmente en los Andes, al igual que en los Llanos venezolanos y la región zuliana, existen grandes rebaños de ganado y residuos agroforestales que generan cantidades importantes de residuos orgánicos (Fig. 5). La energía presente en estos residuos y efluentes representa una potencialidad importante para su conversión en un combustible gaseoso como el biogás; recurso renovable para la generación de calor (cocción de alimentos) o para la generación de electricidad. Cabe destacar que, el aprovechamiento del biogás implica la conservación de la calidad ambiental del entorno, ya que al garantizar la eliminación de residuos sólidos orgánicos se evita la contaminación de cuerpos de agua superficial, subterráneas, suelos, entre otros ecosistemas. Además del biogás, existen otros mecanismos de aprovechamientos como el compostaje, vermicompostaje, etc.

En cuanto a la energía geotérmica, la cual consiste en aprovechar los focos de calor del interior de la tierra en aplicaciones de calefacción o generación eléctrica, en el arco andino costero se distinguen las mayores posibilidades de explotación de este recurso (Fig. 6).

La energía geotérmica en Venezuela se relaciona con la presencia de manantiales termales localizados principalmente en el Sistema Montañoso del Caribe, en los Andes, y en los estados Falcón y Zulia. Los manantiales termales se deben a la infiltración de aguas meteóricas que se calientan por circulación profunda en la corteza y brotan a través de fracturas naturales abiertas e interconectadas [10].

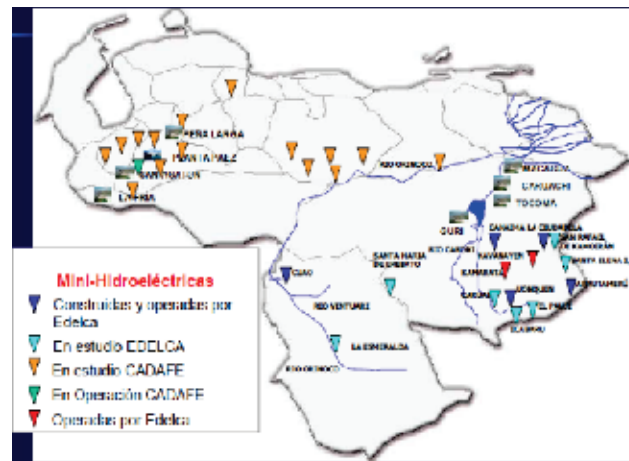


Fig. 4. Mapa de potencialidad de la energía minihidráulica [9]

### 2.3. Consumo total de energía primaria

Respecto al consumo total de energía primaria de Venezuela, compuesto principalmente por la energía no aprovechada, el sector energético y el consumo final implicaron 646,42 Mbe para el año 2011 (Tabla 4). Dicha cantidad de energía se ha distribuido principalmente en el consumo de derivados del petróleo (gasolina, diésel, fuel oil, gas licuado de petróleo), gas natural seco, gas natural líquido y una insignificante porción de carbón mineral, además de los recursos renovables como hidroenergía y leña de uso doméstico. De estos consumos de energía, el 45,23 % fue asociado al consumo final de los diferentes sectores: residencial, comercial, industrial, institucional, transporte, etc.

En los últimos nueve años el consumo final de energía ha experimentado un ligero crecimiento como consecuencia del aumento de población y del consumo per cápita de energía, con excepción del 2009 y 2010 (Fig. 7). Precisamente después del 2008, en todo el país se han presentado fallas en el sistema eléctrico nacional: interrupciones de corta (segundos) y larga duración (horas). La progresiva frecuencia de estas interrupciones en los siguientes años, evidentemente han impactado negativamente el consumo final.



Fig. 5. Mapa de potencialidad de la biomasa [9]

La energía no aprovechada, que incluye los derrames de petróleo y los venteos de gas natural (emisiones de metano), no se ha controlado (Fig. 7). Desafortunadamente este renglón de consumo de energía primaria se ha venido incrementando progresivamente en el tiempo.

Finalmente, el sector energético que incluye las pérdidas de transformación y los consumos intersectoriales, tiene un patrón de consumo ligeramente peor a la energía no aprovechada. Como se observa en la fig. 7, estos consumos se vienen incrementando significativamente desde 2005.

Evidentemente, el derroche de energía fósil por ineficiencias o malas prácticas operativas implica la pérdida de un recurso no renovable y la aparición de efectos adversos sobre los ecosistemas naturales y los seres humanos. De hecho, el consumo intensivo de energía fósil produce daños irreversibles al ambiente; uno de estos daños está directamente relacionado con los gases efecto de invernadero, los cuales son responsables del sobrecalentamiento global. Por ejemplo, el venteo de gas natural representa la descarga de emisiones de gas metano (CH<sub>4</sub>), que es 21 veces más intensivo en comparación con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Así mismo, las ineficiencias energéticas también originan pérdidas importantes en el inventario de recursos fósiles, las cuales se materializan directamente en pérdidas económicas; que generalmente para un país exportador de hidrocarburos representa pérdidas de divisas.



Fig. 6. Mapa de potencialidad geotérmica de Venezuela [11]

Tabla 4. Consumo total de energía primaria por sectores, 2011

Concepto	Consumo (Mbep)	Relación (%)	Relación total sobre producción de energía primaria (%)
Energía no aprovechada	67,16	10,39	4,79
Sector energético	286,89	44,38	20,45
Consumo final	292,37	45,23	20,84
Consumo total de energía primaria	646,42	100,00	46,08

Fuente: Elaboración propia con datos de PODE [2]

#### 2.4. Balance de energía primaria, 2011

El consumo de energía primaria en Venezuela representa el 46,08 % de la energía primaria producida, mientras que el resto se utiliza en diversos productos de exportación: materias primas o productos derivados. Esto indica que el país tiene una tasa de exportación de hidrocarburos de 117% sobre su consumo interno (Tabla 5). Respecto al consumo de energía primaria, aproximadamente el 8% es de origen renovable (hidroeléctrica de gran escala y leña), de los cuales el consumo de leña es insignificante (0,02%). La participación de estas fuentes en la matriz energética representa una reducción considerable de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros agentes contaminantes respecto a las tecnologías convencionales de origen fósil.

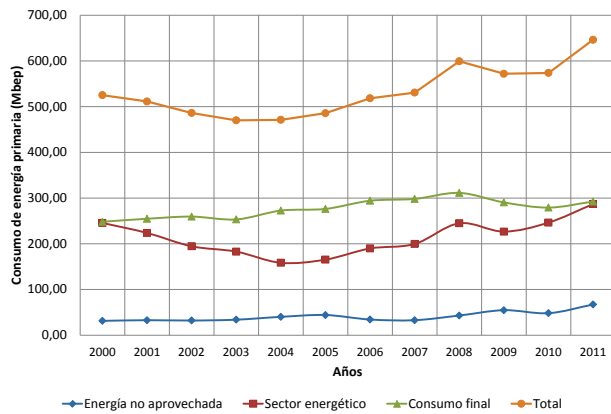


Fig. 7. Consumo total de energía primaria. Periodo 2000 – 2011

Las energías renovables tienen una potencialidad aprovechable de 3.277,7 Mbep por año, lo que representa una proporcionalidad de 242,6 % sobre la totalidad de energías fósiles producidas al final del año 2011 (petróleo, gas y carbón mineral). En este contexto solamente se aprovecha el 1,6 % referido al uso de energía hidráulica de gran escala (energía renovable convencional) y leña de uso doméstico. La energía hidráulica se emplea totalmente para la generación de electricidad y la leña para la cocción de alimentos en zonas rurales (principalmente), así como también en zonas periurbanas. Afortunadamente para Venezuela, el uso de leña es complementario al gas licuado de petróleo (GLP), lo que permite minimizar los riesgos de daños a la salud por contaminación interior en las viviendas, es decir, la aparición de enfermedades respiratorias, piel, etc.

La amplia variedad de fuentes de energías renovables aumenta las posibilidades para propiciar la sustitución de energías fósiles en una nueva matriz energética. Los beneficios de esta diversificación se reflejaría en una disminución de la degradación ambiental, nuevas oportunidades para la generación de empleos de calidad, apalancamiento de la economía, un incremento en el inventario de recursos fósiles para su exportación a los mercados internacionales (generando mayores ingresos de divisas para el país) y la disponibilidad de obtener materias primas para la agregación de valor en nuevos productos y servicios: aumento del producto interior bruto (PIB).

Tabla 5. Balance de energía primaria Venezuela, 2011

Balance de energía primaria	Mbep	Ratio (%)
Producción total de energía primaria	1.402,70	100,00
Consumo total de energía primaria	646,42	46,08
Potencialidad aprovechable de energías renovables no convencionales (potencialidad parcial que no incluye la gran hidráulica)	2.598,80	185,27
Potencialidad total de energías renovables (incluye la gran hidráulica)	3.277,70	233,67

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Venezuela consume más de un tercio de la energía primaria que produce, de la cual desperdicia una cantidad importante (54,77%) debido a ineficiencias tecnológicas y operativas, venteo y quemado del gas natural, derrame de petróleo crudo y otros aspectos propios del sector.

En la matriz de oferta de su consumo interno solamente emplea 7,98% de energía hidráulica. Este aporte, que si bien es cierto es poco, genera impactos positivos al ambiente, ya que reduce emisiones de CO<sub>2</sub> y otras sustancias contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) propias de una tecnología convencional que emplea combustibles fósiles.

Las energías solar, eólica y minihidráulica tienen el potencial suficiente para ser incorporadas al sistema eléctrico nacional, mediante la conexión a red (generación distribuida) o en sistemas de generación descentralizada (micro-redes, generación dispersa, etc.). En tal sentido, los planificadores y responsables de tomar decisiones en el área de la energía, deberían considerar seriamente la posibilidad de avanzar en una diversificación de la matriz energética con fuentes y tecnologías limpias.

Finalmente, la cantidad de energía primaria que no es consumida en el mercado interno, se exporta directamente a otros países de los continentes americano, europeo y asiático. Los ingresos monetarios derivados de esta actividad comercial tienen un impacto significativo en la economía venezolana. De hecho, la actividad petrolera representa la principal fuente generadora de divisas que incide en el sostenimiento de la estructura del Estado Nacional.



#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una revisión de la energía primaria en Venezuela con el propósito de identificar oportunidades para el desarrollo de la energía sostenible. Luego de analizar los valores de producción, consumo y reservas, incluida las energías renovables, se han obtenido las siguientes conclusiones:

Los altos niveles de producción de energía fósil, la capacidad de refinación y las enormes reservas de recursos existentes demuestran que Venezuela es realmente una potencia energética mundial. Su ubicación entre los 10 países con las mayores reservas de petróleo crudo y gas natural del planeta, y de la significativa potencialidad de sus recursos energéticos renovables, reafirman su importancia en el contexto internacional.

La amplia variedad y disponibilidad de energías renovables, en todo el territorio nacional, favorece la posibilidad de promover la sustitución de importantes cantidades de recursos fósiles en el actual modelo de consumo interno. De hecho, se puede pensar en la sustitución progresiva de combustibles como el fuelóleo y gasóleo por tecnología solar fotovoltaica, eólica de gran potencia y plantas minihidráulicas. Esta sustitución podría llegar hasta el 100% de ser técnicamente factible en atención a las redes de distribución del Sistema Interconectado Nacional. En un escenario de tal naturaleza, por ejemplo para el 2020, solamente supondría una explotación menor al 11 % del potencial total de fuentes renovables. De sustituirse totalmente el gas natural en este mismo contexto, la explotación de renovables no llegaría al 12 %. Los beneficios de incorporar tecnologías limpias al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se reflejarían a corto y mediano plazo en un mayor desarrollo tecnológico, social, económico y ambiental del país.

La explotación de recursos energéticos locales como la energía solar fotovoltaica y térmica, energía eólica y minihidráulica, que en actualidad se aprovecha menos del 2 %, podrían ayudar al SEN en aumentar la capacidad de generación, fiabilidad y seguridad del mismo. De esta manera, la generación distribuida (incluyendo la generación descentralizada) podría complementar el modelo de generación centralizada en beneficio de los venezolanos.

Una mayor eficiencia energética permitiría ampliar la disponibilidad de recursos fósiles para su uso en el mercado interno, internacional o para la agregación de valor en la producción de nuevos productos y servicios. En tal sentido, un mejor aprovechamiento de estos recursos implicaría mayores beneficios económicos y sociales al país. La agregación de valor es un aspecto estratégico que debe considerarse de inmediato por los planificadores y agentes de decisión, ya que su implementación permitiría profundizar un mayor desarrollo socioeconómico del país: uso inteligente de la energía.

Para promover coherentemente el desarrollo sostenible y con ello la superación de la pobreza y las desigualdades sociales, es indispensable propiciar un modelo de suministro energético distribuido que prevenga o mitigue los efectos del calentamiento global, así como también la contaminación ambiental. En la práctica estos aspectos implicarían la configuración de una matriz energética con mínima huella de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, etc.; sin detrimento de la actividad económica.

Finalmente, Venezuela debería enfocarse en el aprovechamiento eficiente de los recursos financieros (divisas), invirtiendo una parte importante de sus ingresos, obtenidos principalmente de la exportación de hidrocarburos, derivados del petróleo y carbón mineral, en el desarrollo e implementación de nuevas fuentes de energía (limpias), eficiencia y ahorro energético, para que la riqueza de sus recursos fósiles aporte máximos beneficios económicos, sociales y ambientales a la población: siembra del petróleo. En efecto, esta visión de siembra del petróleo debe ser interpretada como un aspecto estratégico que implique realmente un uso inteligente y sostenible de la energía a corto, mediano y largo plazo.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho y a la Universidad de Los Andes de Venezuela por los recursos humanos y materiales aportados en la presente investigación.

## REFERENCIAS

- [1] *Annual statistical bulletin 2015*, Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC), Vienna, Austria, 2015. Disponible: [http://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/ASB2015.pdf](http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/ASB2015.pdf) [Consulta: 2015, Septiembre 30]
- [2] *Anuario petróleo y otros datos estadísticos 2012*, Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería, Dirección de Planificación y Economía de la Energía, Caracas-Venezuela, Junio de 2014. Disponible: [http://www.menpet.gob.ve/repositorio/imagenes/secciones/pdf\\_pode/pode\\_2012/PODE2012.pdf](http://www.menpet.gob.ve/repositorio/imagenes/secciones/pdf_pode/pode_2012/PODE2012.pdf) [Consulta: 2015, Septiembre 16].
- [3] J. Martínez, “Energías renovables—Potencial energético de los recursos aprovechables,” División de Energías Alternativas, Ministerio de Energía y Minas, Venezuela, 2001.
- [4] United Nations Statistics Division: Environment Statistics Country Snapshot, Venezuela, 2007.
- [5] *Logro en cifras 2005 – 2011*. Fundación para la Electrificación Rural de Venezuela (FUNDELEC), Programa Sembrando Luz, Caracas-Venezuela, 2011.
- [6] F. González; J. Méndez; R. Villasana & S. Peraza, “Wind energy resource evaluation on Venezuela: Part I”. in *Nordic Wind Power Conference (NWPC)*. Espoo, Finland, May, 2006, pp. 22-23. Disponible en: <http://fglongatt.org/OLD/Articulos/A2006-09.pdf>
- [7] *Cobertura eléctrica en América Latina y el Caribe, 2011*, Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), Sistema de Información Económica y Energética (SIEE), 2013.
- [8] J. Rojas & J. Yusta, “Planificación del suministro eléctrico en áreas rurales de los países en vías de desarrollo: un marco de referencia para la toma de decisiones” (Tesis Doctoral), Universidad de Zaragoza, Zaragoza-España, 2012. Disponible: <http://personal.unizar.es/jmyusta/wp-content/uploads/2014/09/Tesis-Juan-Rojas.pdf>
- [9] V. Duran, “Aprovechamiento de las energías renovables para la preservación del ambiente”, Ministerio del Poder Popular para la Energía y el Petróleo, Dirección de Energías Renovables, Venezuela, 17 de marzo de 2009.
- [10] P. Márquez, “Visión generalizada sobre la energía geotérmica en Venezuela: Perspectivas para su aprovechamiento”, Abril de 2011.
- [11] *Potencial geotérmico de Venezuela*, Universidad Central de Venezuela (UCV), Departamento de Geología, UCV, Caracas—Venezuela, 1983.

# Los Cursos Masivos en Línea en Coursera y su Empleo Potencial en los Programas de Ingeniería en América Latina

## Massive Open Online Courses in Coursera and its Potencial Use in Latin-America for Engineering Programs

**Rolando Aguilar, MSc.**

*UNA Virtual-Universidad Nacional de Costa Rica  
Heredia, Costa Rica  
rolando.aguilar.alvarez@una.cr*

**Alejandro Rosete-Suárez, PhD.**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
(Cujae)  
La Habana, Cuba  
rosete@ceis.cujae.edu.cu*

(Recibido el 20-05-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

R. Aguilar, A. Rosete-Suárez, "Los Cursos Masivos en Línea en Coursera y su Empleo Potencial en los Programas de Ingeniería en América Latina", Lámpsakos, N° 14, pp. 61-70, 2015

**Resumen.** Los cursos masivos en línea han revolucionado la forma en que se enfoca la educación superior a nivel mundial, fundamentalmente en ciertas temáticas y para los países más desarrollados. En este trabajo se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo de los idiomas y temáticas de los cursos que se ofertan en la plataforma Coursera, una de las más importantes. Los resultados demuestran las grandes posibilidades de estos cursos para su empleo en las carreras de ingeniería en América Latina, no solo en Ingeniería en Informática o Computación, sino en Ingeniería Mecánica, Civil, Hidráulica, Eléctrica y Electrónica. Se mostró que hay varios centenares de cursos relevantes para la formación de ingenieros, con una tendencia al crecimiento de ellos y en los cursos impartidos en idiomas importantes para la región latinoamericana.

**Palabras clave:** Cursos Abiertos Masivos en Línea; Educación A Distancia; Ingeniería; MOOC

**Abstract.** Massive Open Online Courses have changed the way in which education is conceived, especially in certain subjects and countries. The authors present a quantitative and qualitative analysis of the languages and topics covered by the courses of Coursera, a leader in this field. We demonstrate that there are many courses with potential impact in the engineering careers in Latin-America. The topics are not restricted to Information and Computer Engineering, but they also include Mechanical, Civil, Hydraulic, Electric and Electronic Engineering. We show that several hundreds of courses are relevant for engineering. This number is growing and this is also the case of number of courses in the languages with more importance to our region.

**Keywords:** Massive Open Online Courses; Distance Education; Engineering; MOOC



## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo de hoy está marcado por el creciente empleo de tecnologías de la información. Un fenómeno reciente que está llamado a impactar mucho en la forma en que desarrolla la educación en el mundo es el de los cursos abiertos masivos en línea o MOOC (*Massive Open Online Courses*, por sus siglas en inglés) [1]. Entre las características más importantes de los MOOC están la disponibilidad de recursos libres en línea, el empleo de redes sociales y la presencia de un reconocido experto como facilitador del aprendizaje. Algunos autores consideran a los MOOC como un cisne negro, al ser un evento que surge de pronto alterando la realidad [2], con consecuencias extremas solo explicables en retrospectiva, como pasa con las redes sociales [3].

Una plataforma líder a nivel mundial en el tema de los MOOC es Coursera ([www.coursera.com](http://www.coursera.com)). Es una empresa educativa establecida en 2011 [4], fundada y promocionada por grandes universidades [5]. Ya en abril del año 2013 contaba con el patrocinio de 62 universidades de clase mundial lideradas por la Universidad de Stanford [1] y la cantidad de patrocinadores está en constante crecimiento [6], [7]. Aunque Coursera no es la única empresa dedicada a este tipo de ofertas, es sin dudas una empresa líder.

Los MOOC son relevantes en muchas dimensiones, entre las que cabe destacar la dimensión de las instituciones y la de los estudiantes. De cara a las instituciones, los MOOC pueden obligarlas a modificar su enfoque de servicio o negocio [2]. De cara a los estudiantes, puede modificar su percepción de cómo formarse, incluso rompiendo barreras espaciales o económicas. Esto ha provocado una notable atención a la evolución de los MOOC que se manifiesta en las publicaciones sobre el tema [1].

A pesar de este reconocido crecimiento, en varios trabajos publicados sobre el tema (que se comentan en las secciones 2 y 3) se minimiza su relevancia para la formación de ingenieros debido a la escasez de cursos de esta temática. Sin embargo, al ser un tema reciente y cambiante es muy pronto para generalizar tendencias estables. Esto obliga a mantener una observación constante del mismo. De hecho, se puede afirmar que hoy no se cuenta con un análisis actualizado de los MOOC relevantes para la formación de ingenieros. En este trabajo se analizan las potencialidades que tiene Coursera para tener un impacto significativo en los estudios de ingeniería en

América Latina. El trabajo se ha centrado en Coursera como caso de estudio, ya que basta con ello para cumplir el objetivo de demostrar la relevancia de los MOOC en este sentido. La esperable existencia de cursos en otras plataformas solo resaltaría la necesidad de atención y aumentaría las posibilidades de empleo.

La sección 2 pone en contexto el fenómeno de los MOOC y su impacto a nivel mundial. La sección 3 presenta un grupo de trabajos relacionados con el uso de los MOOC en Ingeniería. La sección 4 presenta un análisis cuantitativo y cualitativo de la oferta educativa de Coursera tanto en el momento actual como de su tendencia. Se hace especial énfasis en su potencialidad para impactar en la enseñanza de carreras universitarias de ingeniería en América Latina. La sección 5 sugiere algunas líneas de trabajo futuro.

## 2. IMPACTO DE LOS MOOC EN EL MUNDO ACTUAL

Los MOOC han tenido un gran impacto en el mundo académico desde su debut a gran escala en 2011 con los cursos de computación [8], que mostraron que era posible superar barreras geográficas y económicas para acceder a ciertos conocimientos. En el intervalo 2008 a 2013 el concepto aumentó notablemente su presencia en cuanto a la cantidad de publicaciones [2], que han analizado sus causas y consecuencias. Los MOOC han surgido en un contexto muy favorable marcado por la mejoría en la percepción de los líderes educativos sobre la calidad igual o superior del aprendizaje en línea, con respecto a la educación cara a cara. En el año 2003, el 57 % de los líderes consideraba que el resultado del aprendizaje en línea era igual o superior a la enseñanza cara a cara. Hoy este número llega a un 77 %, quedando una minoría (23%) que siguen creyendo que la educación en línea es inferior. Es destacable que las universidades con mayor experiencia en este tipo de cursos en línea, que son en su mayoría de los países más desarrollados, son las que tienen la opinión más favorable [9].

Es tan grande el impacto de los MOOC en el mundo actual, que algunos autores han analizado las perspectivas de las instituciones de educación superior y se han cuestionado la posibilidad de que puedan seguir siendo rentables más allá del año 2025 [10], en un contexto en que los MOOC van ganando cada

vez un lugar más prominente. En ese trabajo se presentan varios escenarios posibles para el futuro desarrollo de la educación superior [10] a partir de los hechos que hoy están marcando la realidad.

A pesar de esas opiniones, otros autores creen que el deslumbramiento actual con los MOOC sea algo pasajero. Ellos argumentan que existe el peligro que el movimiento MOOC pase de un ciclo de expectativas infladas como las que hay hoy, a una desilusión y luego a un estado más estable en un nivel intermedio entre ambos [11]. Otros autores evalúan el fenómeno MOOC y el efecto del aprendizaje virtual en educación superior, con sus beneficios y obstáculos [6].

Uno de los factores en contra de los MOOC es que no se ha reducido la proporción de líderes que consideran como una barrera a la falta de aceptación de los diplomas o grados obtenidos en línea por parte de los empleadores potenciales. Este valor se ha mantenido en alrededor de un 40 % [9]. Para atenuar este inconveniente y establecer una forma de introducción de los MOOC de modo gradual, hay maestros que han empleado los MOOC como complemento de lo que puede estar faltando en sus cursos y hay autores que consideran que esta práctica debe promoverse siempre que sea posible hacerlo [12]. También se sugiere usar la constancia del completamiento de un MOOC como justificación para excusar a un estudiante de un curso que no conlleve créditos oficiales [4].

Otro aspecto que ha causado preocupación a algunos autores es lo que puede suceder en un medio abierto, donde no se controlan las personas que están participando. En este sentido, hay experiencias favorables en cursos oficiales de un campus donde se mezclaron estudiantes regulares con otros que entraron a una variante supuestamente MOOC pura. Ninguno de los dos tipos de estudiantes notó nada extraño en el curso y no les molestó la existencia de los otros tipos de estudiantes cuando fueron preguntados al final [4].

En otra dirección, una de las preocupaciones que surge es el aspecto relativo a la seguridad informática asociada a los MOOC [13] y hay autores que se han manifestado abiertamente en contra de dar créditos por los MOOC [4]. En una posición más abierta y de principios, Morris ve que la tendencia a emplear y experimentar con los MOOC es inevitable. Considera que con este aumento lo que hay que esforzarse es por garantizar experiencias de aprendizaje

rigurosas que les brinden a los estudiantes una educación de calidad [7]. Otro aspecto que debe atenderse es la eficiencia de los cursos, pues la mayor parte de los artículos sobre MOOC sugieren que la retención es baja, incluso la ubican por debajo del 10 % [7]. En este sentido falta mucho por hacer, pues se sabe muy poco sobre las experiencias de los que no completan los cursos [1].

### 3. LOS MOOC EN LA INGENIERÍA

Según Amo, en el año 2013 había en funcionamiento 132 MOOC, de los cuales 92 los ofrecía Coursera. La mayor parte de los MOOC eran de Computación (61), quedando repartido el resto de los cursos en temáticas de Negocios y Gestión (21), Humanidades (14), Ciencias (13), Salud y Medicina (12), Matemáticas y Estadísticas (8) e Ingeniería (3) [11]. Egerstedt generalizó el contenido de los MOOC al decir que casi todos estaban en las temáticas de humanidades, computación e “introducción a X”, resaltando la escasez de cursos de ingenierías en la mayor parte de los proveedores de MOOC (Udacity, Coursera, edX) [14]. Este autor asoció esa carencia de cursos a la complejidad para realizar laboratorios, que son esenciales en los programas de Ingenierías [14].

A pesar de estos retos, hay algunos factores que pueden favorecer el interés de los estudiantes de las carreras de ingenierías por los MOOC. Por una parte, en el contenido de los cursos de Ingeniería puede ser menos relevantes las diferencias culturales que en otras disciplinas. Por otra parte, en el mundo tecnológico e ingenieril, es mucho más clara la tendencia a que el conocimiento y la transferencia tecnológica fluyan de los países más desarrollados hacia los menos desarrollados. En ese sentido, los MOOC pueden constituirse en una vía expedita para esta transferencia, y los estudiantes universitarios pueden estar ávidos de recibir ese conocimiento actualizado. Adicionalmente, los estudiantes de ingenierías, por su tendencia natural a la asimilación tecnológica pueden estar más interesados en entrar en este tipo de experiencias nuevas como las que ofrecen los MOOC.

Hoy la región latinoamericana no lidera este tema a nivel mundial, pero la interconexión hace que los MOOC puedan impactar en ella. Para sus profesores y estudiantes pueden constituir una oportunidad de superación constante y de desarrollo de nuevas habilidades y competencias. También pueden constituir

un reto para los profesores al ponerlos en comparación con varios líderes mundiales en sus disciplinas. Esto no significa que nos enfrentemos hoy al dilema de escoger entre los MOOC y las universidades. El dilema es cómo usar el fenómeno MOOC de la mejor forma posible, por lo cual es importante vigilar sus tendencias.

Como se verá en detalle en la sección siguiente, ya a fines de 2014 había aumentado mucho la cantidad de cursos de ingenierías. De hecho, tan solo en Coursera la cantidad de cursos de ingenierías había llegado a 69. Sin embargo, son pocos los autores de MOOC en temas de ingenierías que han publicado sus experiencias, que sin dudas son muy valiosas para extender su empleo en esta rama.

Los cursos documentados demuestran las potencialidades existentes. Algunos de ellos son en el área de la computación, en aspectos cercanos a las ingenierías en electrónica y telecomunicaciones como es el caso del curso de Redes con TCP/IP con 9891 estudiantes registrados [15], el curso sobre Control de Robots Móviles con 40000 estudiantes registrados [14], el curso de Diseño Digital de Circuitos con 17 mil estudiantes registrados [8] o el curso sobre Memorias con 13126 estudiantes registrados [15].

Para tener una idea del impacto que puede tener un MOOC, Rutenbar [8] considera que su curso hizo que la cantidad de personas con un nivel serio de competencias sobre Diseño Digital de Circuitos en el planeta aumentara en un valor entre 500 and 2000 con su curso, debido a que 7000 estudiantes vieron algún video (incluidos los 2000 que los vieron todos), 1000 entregaron la tarea y alrededor de 500 realizaron el software o el examen final. Otro curso de Ingeniería del cual existe una publicación que comenta sus resultados es el curso de Casos sobre Evaluación de Ciclo de Vida (en inglés, *Life Cycle Assessment* o LCA) como parte de un curso de gestión [16]. En el área de la Ingeniería en Informática o Computación también hay experiencias reportadas con MOOC en cursos del lenguaje Python [4], de Aprendizaje automático con 100000 participantes [7] y de Introducción a las Bases de Datos con 90000 participantes [7].

Aunque hoy no se cuenta con registros que lo avalen, es posible que algunas universidades latinoamericanas hayan empleado estas u otras oportunidades de MOOC para apoyar la formación de sus estudiantes de carreras de ingenierías. Sin embargo,

muchas instituciones estuvieron de espaldas a esto. Incluso, es posible que algunos profesores y estudiantes recibieran algunos de estos conocimientos y sus universidades no estén al tanto. Por las razones expuestas, es importante tener un conocimiento actualizado de las oportunidades que hoy ofrecen los MOOC para las carreras de ingeniería en la región latinoamericana.

#### 4. CURSOS DISPONIBLES EN COURSERA

Esta sección analiza los cursos disponibles en Coursera (<https://www.coursera.org/courses>) para valorar la posibilidad de emplearlos para la formación de ingenieros en América Latina. Aunque los MOOC pueden tener impacto en todo el mundo y en todas las temáticas, el objetivo de este trabajo no es ver ese impacto global, sino analizar su relevancia para las ingenierías en la región latinoamericana. Por esta razón, se han analizado en detalle los cursos que se imparten en los idiomas más relevantes para la región y que cubren los temas más relevantes para las ingenierías. No se niega el posible impacto de los MOOC en otros temas o regiones, pero eso queda fuera del alcance de este trabajo.

Para hacer esta investigación, se realizaron tres muestreos de los cursos disponibles en tres momentos del tiempo: octubre de 2014, noviembre de 2014 y mayo del 2015. Se escogieron estos tres momentos para evaluar la razón de cambio de la oferta educativa en dos meses consecutivos, y la evolución de esta oferta en seis meses. El análisis cuantitativo que se presenta en esta sección se enfoca en dos dimensiones fundamentales: el idioma y las temáticas.

En cuanto a los idiomas, la Tabla 1 muestra la cantidad de cursos disponibles en inglés, español, francés, portugués y en el resto de los idiomas. Se enfatiza en estos idiomas por las razones siguientes. El español y el portugués son los más hablados en América Latina, mientras que el inglés y el francés también son hablados por una fracción de pequeños países, especialmente del Caribe. Adicionalmente, en el caso del inglés es prácticamente hoy en día un idioma universal en ciencia y tecnología, aspectos de especial relevancia para las ingenierías. La última fila de la Tabla 1 muestra la cantidad de idiomas diferentes en que se ofertaban cursos en los distintos momentos.

**Tabla 1.** Distribución de cursos por idioma en Coursera

Idioma	Octubre 2014	Noviembre 2014	Mayo 2015
Inglés	693	741	864
Español	38	38	74
Portugués	34	33	49
Francés	29	30	40
Otros	162	192	254
Total	956	1034	1281
Diferentes	20	20	30

**Tabla 2.** Proporción de cursos por idioma en Coursera

Idioma	Octubre 2014	Noviembre 2014	Mayo 2015
Inglés	72,5%	71,7%	67,4%
Español	4,0%	3,7%	5,8%
Portugués	3,6%	3,2%	3,8%
Francés	3,0%	2,9%	3,1%
Otros	16,9%	18,6%	19,8%

La Tabla 2 muestra la misma información de manera porcentual, mientras que la Tabla 3 muestra los crecimientos experimentados en cada muestra respecto a la anterior. Esto permite ver otras aristas interesantes de la misma información.

En el caso de la Tabla 3, además de los valores de crecimiento absoluto en el semestre de noviembre de 2014 a mayo de 2015, también se muestra entre paréntesis la razón media de crecimiento para avalar una comparación con el crecimiento en el mes de octubre de 2014.

Analizando en conjunto los datos de las tres tablas (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3) se pueden llegar a algunas conclusiones interesantes:

- Hay un crecimiento global en la cantidad de cursos, pero de una manera menos acelerada.
- Crecen la cantidad de idiomas diferentes en que se ofrecen cursos. Sin embargo, este crecimiento no tiene tanta relevancia para América Latina por ser fundamentalmente idiomas asiáticos y de Europa del Este.
- La cantidad de cursos en inglés se mantiene siendo la más alta y la que más crece, pero se nota un leve descenso en su proporción en los últimos meses y una desaceleración de su crecimiento.

**Tabla 3.** Crecimiento en cursos por idioma en Coursera

Idioma	Octubre 2014 – Noviembre 2014	Noviembre 2014– Mayo 2015
Inglés	48	123 (20,5)
Español	0	36 (6)
Portugués	-1	16 (2,7)
Francés	1	10 (1,7)
Otros	30	62 (10,3)
Total	78	247 (41,2)

- El crecimiento de los cursos en español se ha acelerado en los últimos seis meses, casi duplicando su valor y creciendo a ritmo de 6 cursos por mes. Esto puede reflejar un foco de atención hacia la región latinoamericana.
- Los cursos en portugués y francés también crecen, pero a ritmos más lentos.
- La cantidad de cursos que hoy están disponibles en Coursera y que por sus idiomas son relevantes para la región latinoamericana es una cantidad grande.
- Hay alrededor de una media centena en español, portugués y en francés. Además, hay más de 800 en inglés.
- Si se mantiene la tendencia del último semestre, en los siguientes seis meses se habrá rebasado el centenar de cursos en español y el medio centenar en portugués y francés. En ese mismo lapso, puede esperarse ya un millar de cursos en inglés.

Las conclusiones anteriores, unido a las potencialidades que pueden ofrecer otras plataformas, llevan a la conclusión que el fenómeno de los MOOC es relevante para la comunidad latinoamericana.

Según las temáticas, Coursera agrupa los cursos en 25 categorías o temas. De ellos, se escogieron los 14 temas más relevantes para las carreras de ingenierías (ver Tabla 4). Se han obviado 11 temas por ser menos relevantes para los objetivos de este trabajo. Debe aclararse que, al igual que con la temática “Teoría”, las temáticas de Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software, Sistemas y seguridad, también tiene sus nombres precedidos de la frase “Ciencias de la Computación” en las categorías oficiales de Coursera.



**Tabla 4.** Cursos en temas afines a las ingenierías en Coursera

Idioma	Octubre 2014	Noviembre 2014	Mayo 2015
Ingeniería	69	71	91
Ingeniería de Software	51	55	77
Sistemas y seguridad	36	35	41
Ciencias de la Computación: Teoría	42	46	66
Inteligencia Artificial	37	39	45
Análisis de Datos y Estadística	65	67	85
Información, tecnología y diseño	103	107	143
Administración de Empresas	120	128	172
Economía y Finanzas	95	102	138
Energía y Medio Ambiente	37	40	49
Ciencias de la Tierra y Física	40	44	54
Química	30	31	33
Física	44	45	51
Matemáticas	59	66	83

Los 14 temas presentados en la Tabla 4 así como los otros 11 temas faltantes, según las categorías de temas de Coursera se han agrupado en la Tabla 5 en cinco áreas temáticas. Debe notarse que la cantidad total de cursos no coincide en su suma con la cantidad mostrada en el análisis por idioma (Tabla 1) porque existen cursos que pertenecen a más de un tema. Esto implica que los números que se muestran a continuación no corresponden exactamente a cursos, pues (por ejemplo) un curso de Arte por Computadoras puede pertenecer tanto a la categoría de Arte como a la Computación.

El agrupamiento de los 25 temas de Coursera en los 5 grupos temáticos de la Tabla 5, se ha hecho considerando que el foco de este trabajo está en los estudios de ingeniería. Los cinco grupos temáticos son:

- Ingeniería: Cursos que pertenecen específicamente a la categoría de Ingeniería según la clasificación dada por Coursera.
- Específicos: Cursos que forman parte del currículo de formación específica de algunas carreras de ingeniería. En este grupo se han incluido seis categorías de Coursera: Administración de Empresas; Economía y Finanzas; Energía y Medio Ambiente; Información, tecnología y diseño; Ciencias de la Tierra y Física; y Análisis de Datos y Estadística.

**Tabla 5.** Distribución de cursos de Coursera por grupos temáticos

Idioma	Octubre 2014	Noviembre 2014	Mayo 2015
Ingeniería	69	71	91
Específicos	460	488	641
Básicos	133	142	167
Computación	166	175	229
No	880	916	1177
Total	1708	1792	2305

- Básicos: Cursos que forman parte del currículo de formación básica de muchas carreras de ingeniería. Este grupo incluye tres categorías de Coursera: Matemática, Física, Química.
- Computación: Cursos de temas de computación que forman parte del currículo de formación específica de carreras de ingeniería en este tema particular y que también pueden ser parte de los currículos básicos o específicos de otras carreras de ingeniería. En este grupo se han incluido cuatro categorías que Coursera nombra como partes de las Ciencias de la Computación: Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software, Sistemas y seguridad; y Teoría.
- No relacionados: Cursos que no forman parte normalmente del currículo de formación de carreras de ingeniería, aunque debido a la gran variedad de concepciones curriculares, algunos podrían ser de interés de alguna carrera de ingeniería específica. Este grupo incluye once categorías de Coursera: Arte; Biología y Ciencias Naturales; Educación; Alimentación y nutrición; Salud y sociedad; Humanidades; Derecho; Medicina; Música, producciones audiovisuales y sonido; Ciencias Sociales; y Desarrollo profesional para profesores.

La Tabla 5 muestra la cantidad de cursos en Coursera según los cinco grupos temáticos explicados antes.

La Tabla 6 muestra la misma información de manera porcentual, mientras que la Tabla 7 muestra los crecimientos experimentados en cada muestra respecto a la anterior. Esto permite ver otras aristas interesantes de la misma información.

**Tabla 6.** Proporción de cursos en Coursera por grupos temáticos

Idioma	Octubre 2014	Noviembre 2014	Mayo 2015
Ingeniería	4,0%	4,0%	3,9%
Específicos	26,9%	27,2%	27,8%
Básicos	7,8%	7,9%	7,2%
Computación	9,7%	9,8%	9,9%
No	51,5%	51,1%	51,1%

En la Tabla 7., además de los valores de crecimiento absoluto en el semestre de noviembre de 2014 a mayo de 2015, también se muestra entre paréntesis la razón media de crecimiento para poder compararlo con el crecimiento en el mes de octubre de 2014.

Analizando de conjunto los datos de las tres tablas (Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7) se pueden llegar a algunas conclusiones interesantes:

- Se nota un crecimiento global en la cantidad de cursos, con un ligero énfasis en los cursos que cubren más de una temática. Esto explica por qué el total de 513 en la Tabla 7 es mayor que el total de 247 en la Tabla 3 ya que hay más cursos que pertenecen a varias categorías.
- Se ha mantenido estable la distribución de los temas en la oferta educativa de Coursera, lo cual se nota en la proporción por temática que se ha mantenido casi invariable (Tabla 6).
- Aproximadamente la mitad de los cursos tienen relevancia para los estudios de ingeniería pues en los grupos temáticos de Ingeniería, Específicos, Básicos y Computación está el 48,5% del total de los cursos que se corresponde con un total de 1128 cursos.
- En la temática de Computación hay una notable presencia de cursos. En el muestreo de Mayo de 2015 además de los 229 cursos que están en el grupo temático de Computación, hay otros del área temática “Específicos” que pueden ser válidos para otras ingenierías pero que sin duda tienen interés particular en la Informática y la Computación como son los que pertenecen a las categorías de Información, tecnología y diseño (143 cursos) y Análisis de Datos y Estadística (85 cursos). Sumando todos, se puede decir que en Coursera hay 457 cursos que pueden ser interesantes para carreras de ingeniería en informática o computación.

**Tabla 7.** Crecimiento de cursos en Coursera por grupos temáticos

Idioma	Octubre 2014 – Noviembre 2014	Noviembre 2014– Mayo 2015
Ingeniería	2	20 (3,3)
Específicos	28	153 (25,5)
Básicos	9	25 (4,2)
Computación	9	54 (9)
No	36	261 (43,5)
Total	84	513 (85,5)

- Si se mantiene la tendencia del último semestre, en seis meses más se habrá rebasado el centenar de cursos de Ingeniería, los cursos básicos pasarían de 200 y los de Computación estarían cerca de 300. Por su parte, los cursos “Específicos” estarían cerca de los 800.

La información analizada anteriormente permite corroborar que Coursera (y en general el fenómeno de los MOOC) es relevante para la formación en Ingeniería en América Latina. Para ejemplificar, a continuación se mencionan algunos cursos disponibles de Ingeniería en idioma español y portugués, tomados de la muestra de mayo de 2015, así como la universidad encargada:

- Estrategias y habilidades esenciales para la negociación exitosa (Universidad de Michigan)
- Aprendiendo a aprender: poderosas herramientas de la mente para ganar pericia en temas complicados (Universidad de California en San Diego)
- Sistemas Digitales: de las puertas lógicas al procesador (Universidad Autónoma de Barcelona)
- Procesamiento Digital de Señales (Universidad Estatal de Campinas)
- Diseño: creación de artefactos en sociedad (Universidad de Pensilvania)

De los cursos disponibles en inglés, a continuación se muestra una selección de cursos agrupados por carreras de ingeniería a los que son afines dichos cursos, como forma de ejemplificar la variedad de temas que están disponibles. En el área de la Ingeniería Mecánica y Energética están:

- Introducción a la ingeniería mecánica (Instituto Tecnológico de Georgia)



- Aplicaciones de la ingeniería mecánica (Instituto Tecnológico de Georgia)
- Introducción a la termodinámica (Universidad de Michigan)
- Termodinámica estadística: de moléculas a máquinas (Carnegie Mellon University)
- La energía y la Tierra (Universidad de Wisconsin–Madison)
- Vientos, olas y mareas: Sistemas de energía alternativa (Universidad de Toronto)
- Células solares orgánicas: la teoría y la práctica (Universidad Técnica de Dinamarca)

En el área de la Ingeniería Civil e Hidráulica:

- El arte de las estructuras (Escuela Politécnica Federal de Lausana)
- El método de los elementos finitos para problemas en Física (Universidad de Michigan)
- Diseño de ciudades (Universidad de Pensilvania)
- Estructuras firmes: la estática tras los objetos que vemos a diario (Universidad de Florida)
- Principios fundamentales de la mecánica de fluidos (Universidad de Minnesota)
- La aerodinámica en los deportes y las construcciones (Universidad tecnológica de Eindhoven)

En el área de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica:

- Principios fundamentales de la ingeniería eléctrica (Universidad Rice)
- Introducción a la Electrónica (Instituto Tecnológico de Georgia)
- Herramientas CAD para VLSI: de la lógica al diseño (Universidad de Illinois en Urbana-Champaign)
- Procesamiento de imágenes y de vídeo (Escuela Politécnica Federal de Lausana, Universidad Duke y Universidad Northwestern)

- Introducción a la electrónica de potencia (Universidad de Colorado en Boulder & Sistema Universitario de Colorado)
- Control de robots móviles (Instituto Tecnológico de Georgia)
- El GPS: introducción a la navegación por satélite (Universidad de Stanford)
- Nanotecnología y nanosensores (Technion–Instituto Tecnológico de Israel)
- Circuitos lineales (Instituto Tecnológico de Georgia)
- Transistores MOS (Universidad de Columbia)
- Seguridad del hardware (Universidad de Maryland)

En el área de la Ingeniería Informática y Computación:

- Lógica: lenguaje e información (Universidad de Melbourne)
- Conceptos de Computación en la Nube (Universidad de Illinois en Urbana-Champaign)
- Neurociencia computacional (Universidad de Washington)
- Introducción a la Programación con MATLAB (Universidad Vanderbilt)
- Internet de las cosas (Universidad de Princeton)
- Redes informáticas (Universidad de Washington)
- La arquitectura de las computadoras (Universidad de Princeton)

En algunos de los temas, es evidente que el contenido de los cursos puede servir a más de un perfil de carrera de ingeniería, como es el potencial uso de los últimos cursos nombrados para carreras de electrónica. Adicionalmente, hay otros cursos que cubren temas generales que son válidos explícitamente para muchas carreras como son los siguientes:

- Creatividad, innovación y cambio (Universidad Estatal de Pensilvania)
- Innovación para emprendedores: de la idea al mercado (Universidad de Maryland)
- Introducción a la ingeniería de sistemas (Universidad de Nueva Gales del Sur)
- Construcción de sistemas de ingeniería (Universidad Northwestern)
- Sistemas de ingeniería en movimiento (Instituto Tecnológico de Georgia)

Con esta muestra, se puede ver que es evidente la existencia de cursos muy valiosos para carreras de ingeniería. Queda por los profesores y las autoridades universitarias el establecimiento de políticas y métodos efectivos para insertar de forma correcta este arsenal de contenidos en las carreras de ingenierías que cada institución imparte. Algunos ejemplos de posibilidades de empleo que pueden sugerirse son:

- Incluir como objetivos de capacitación de docentes el cursar determinados MOOC.
- A partir de lo anterior, que el docente enuncie las posibilidades de lo aprendido para ser empleado en ciertas asignaturas que imparte.
- Diseñar sistemas de acreditación de conocimientos y habilidades asociados a ciertos MOOC, para pregrado y postgrado, a partir del diseño de una evaluación o prueba que mida habilidades que se enseñan en un MOOC. De este modo, un profesor o institución educativa nacional pueda certificar lo aprendido y puede brindarse un diploma con mayor reconocimiento en cada país.

## 5. TRABAJOS FUTUROS

Los resultados de este trabajo han mostrado que hay muchos cursos disponibles en Coursera que pueden emplearse para potenciar los estudios de ingeniería en América Latina. De aquí, hay un conjunto de líneas de investigación que surgen:

- La ampliación de este estudio a otras plataformas de MOOC y las posibilidades para el uso combinado de cursos de varias plataformas para elaborar una propuesta de formación en una rama.
- El estudio de la evolución de la oferta de MOOC producida por instituciones latinoamericanas.
- La evaluación del impacto que ya han tenido los MOOC en la formación de estudiantes y graduados de ingeniería en Latinoamérica hoy, independientemente de si esto se haya hecho de manera autodidacta o de forma orientada para las instituciones.
- La sugerencia de estrategias para el empleo de estos cursos de manera efectiva.
- El diseño e implementación de cursos concretos en nuestros países que utilicen los recursos disponibles en los MOOC, considerando los posibles conflictos de opiniones y enfoques, y las posibilidades de complementación. Todo esto exigiría un estudio más a fondo de los contenidos.
- Una investigación similar a la realizada en este trabajo que se enfoque en otras ramas de gran importancia (por ejemplo, Medicina y Educación), o hacia una temática específica de estudios de ingeniería (por ejemplo, la Ingeniería en Informática o la Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la que existen muchos MOOC disponibles).

Un interés primordial de este trabajo es llamar la atención sobre una gran oportunidad que hoy está presente, para que la comunidad de ingeniería en nuestra área analice cómo emplear a los MOOC de la mejor manera. Por esta razón, estas ideas están lejos de ser abarcadoras.

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo ha demostrado que existe un notable conjunto de cursos en Coursera que pueden ser empleados de forma efectiva para apoyar los programas de formación en ingeniería en nuestra región. La creciente cantidad de MOOC disponibles en idiomas hablados en la región y el aumento de la can-

tividad de ellos que cubren temas relevantes para las carreras de ingenierías demuestran que este tema es relevante para la región y que exige atención.

La evolución que se ha estudiado del fenómeno en el último año deja claro que la tendencia es que aumente la cantidad de MOOC que se ofrecen que puedan ser usados con este fin. El reto está hoy en nuestra capacidad para emplear los recursos existentes de una manera coherente y efectiva.

## REFERENCIAS

- [1] T. R. Liyanagunawardena, A. A. Adams & S. A. Williams, "MOOCs: A Systematic Study of the Published Literature 2008-2012", *The international Review of Research in Open and Distance Learning*, Vol. 14, no. 3, pp. 203-227, July 2013.
- [2] M. Aparicio, F. Baca, & T. Oliveira, "MOOC's Business Models: Turning Black Swans into Gray Swans", In *Proc. ISDOC 2014*, Lisbon, Portugal, pp. 45-49.
- [3] J. C. Monsalve-Gómez & L. A. Granada-de-Espinal, "Redes sociales: aproximación a un estado del arte", *Lámpsakos*, no. 9, pp. 34-41, enero-junio, 2013.
- [4] C. Severance, "MOOCs: An Insider's View", *Computing Education*, pp. 93-96, Oct. 2013.
- [5] J. Kay, P. Reimann, E. Diebold & B. Kummerfeld, "MOOCs: So Many Learners, So Much Potential", *IEEE Intelligent Systems*, pp. 70-77, 2013.
- [6] F. Hegyesi & G. Kártyás, "Mooc in Higher Education", In *Proc. 11th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications*, The High Tatras, Slovakia, Oct., 2013, pp. 119-122, 24-25.
- [7] L. V. Morris, "MOOCs, Emerging Technologies, and Quality", *Innov High Educ.* no. 38, pp. 251-252, 2013.
- [8] R. A. Rutenbar, "The First EDA MOOC: Teaching Design Automation to Planet Earth", In *Proc. DAC '14*, San Francisco, CA, USA, pp. 1-6, 1-5, June 2014.
- [9] I. E. Allen & J. Seaman, "Changing Course: Ten Years of Tracking Online Education in the United States", Babson Survey Research Group and Quahog Research Group, LLC, Pearson, 2013.
- [10] E. Blass & Peter Hayward, "Innovation in higher education; will there be a role for the academe/ university in 2025?", *Eur J Futures Res.*, vol. 2, no. 41, pp. 1-9, 2014.
- [11] D. Amo, "MOOCs: Experimental Approaches for Quality in Pedagogical and Design Fundamentals", In *Proc. 2013 Int. Conf. on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality*, Salamanca, Spain, nov., 2013, pp. 219-223, 14-15.
- [12] J. M. Spector, "Emerging educational technologies: Tensions and synergy", *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, no. 26, pp. 5-10, 2014.
- [13] J. Miguel, S. Caballé & J. Prieto, "Providing Information Security to MOOC: Towards effective student authentication", In *Proc. 2013 5th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 289-292.
- [14] M. Egerstedt, "Controls for the Masses", *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 40-44, August 2013.
- [15] C. Willems, J. Jasper & C. Meinel, "Introducing Hands-On Experience to a Massive Open Online Course on openHPI", In *Proc. 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering*, Kuta, Indonesia, pp. 307-313.
- [16] E. Masanet, Y. Chang, Y. Yao, R. Briam & R. Huang, "Reflections on a massive open online life cycle assessment course", *Int J Life Cycle Assess*, Published online 20 sept. 2014, DOI 10.1007/s11367-014-0800-

## ARTÍCULOS DE REVISIÓN

# La Industria Química: Importancia y Retos

## The Chemical Industry: Importance and Challenges

**Nancy Montes-Valencia**

*Grupo Qualipro- Facultad de producción y diseño*

*IU- Pascual Bravo*

*Medellín, Colombia*

*nmontes@pascualbravo.edu.co*

(Recibido el 01-06-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

N. Montes-Valencia, "La Industria Química: Importancia y Retos", Lámpsakos, N° 14, pp. 72-85, 2015

**Resumen.** La química siempre ha estado presente en la vida del hombre para satisfacer sus necesidades y mejorar su calidad de vida. Hoy en día la industria química es un importante sector industrial presente en la mayoría de países, que dinamiza el crecimiento económico, genera empleo y ofrece diversidad de productos, no obstante produce contaminación al medio ambiente y utiliza recursos naturales no renovables.

Por tanto, surge el concepto de química verde como respuesta a la problemática ambiental cuya estructura es la sostenibilidad, siendo su principal objetivo prevenir la generación de emisiones y armonizar la química con los recursos naturales. Existe un gran reto para la industria química y es encontrar fuentes alternativas de energía para no seguir dependiendo del petróleo, el gas natural y el carbón; una de estas es el uso de la biomasa para la obtención de combustibles líquidos. Aunque otros retos son el cuidado y conservación del agua y los nanomateriales.

**Palabras clave:** Industria Química; Contaminación; Sostenibilidad; Química Verde; Energía.

**Abstract.** Chemistry has always been present in the life of human beings to meet their needs and improve their quality of life. The chemical industry is now a major industrial sector present in most countries, which drives economic growth, creates jobs and provides various products; however it causes environmental pollution and uses non-renewable natural resources.

Thus, the concept of green chemistry occurs in response to environmental problems whose structure is sustainability, its main objective is to harmonize the chemical to natural resources and prevent the generation of emissions. There is a major challenge for the chemical industry. This is to find alternative energy sources and become less dependent on oil, natural gas and coal. So the use of biomass for the production of liquid fuels is a good source of energy. Although other challenges are the care and conservation of water and nanomaterials.

**Keywords:** Chemical Industry; Pollution; Sustainability; Green Chemistry; Energy.



## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria el hombre ha estado acompañado de procesos químicos. Muchos de los descubrimientos que le han posibilitado su desarrollo tecnológico y la mejora de su calidad de vida están relacionados con dichos cambios: el fuego, la cocción de los alimentos, la fermentación que permitió la obtención de bebidas, quesos y pan, la elaboración de cerámicas, la obtención de metales y sus aleaciones [1].

Actualmente el desarrollo de la química sigue siendo una necesidad para la supervivencia del ser humano, para la mejora de su calidad de vida [2].

Se puede afirmar que la vida contemporánea y cualquiera de los aspectos que la caracterizan, resultan imposibles sin los conocimientos que proporciona la química como ciencia y sin la aplicación que de ellos hace la industria. Pero resultan innegables, así mismo, los efectos nocivos asociados a la actividad química industrial de los dos últimos siglos por la contaminación que esta genera [3].

Estos contaminantes provenientes de las industrias se dividen en tres categorías (sólido, gas y agua), en la siguiente tabla se muestran algunos de estos, los cuales son producidos por otras industrias además de la química [4].

1 DBO demanda bioquímica de oxígeno, 2 DQO demanda química de oxígeno

La sostenibilidad en el contexto de la química responde a la obligación ética de contribuir al desarrollo y bienestar de todas las naciones del planeta, sin afectar a la naturaleza ni a las generaciones futuras. Esta contribución tiene lugar de manera primordial por la sostenibilidad de la propia actividad química industrial, que ve amenazada la viabilidad de su producción por el previsible agotamiento irreversible de las fuentes de las materias de partida y por las normativas legales, formuladas en defensa de la sociedad y de la naturaleza cada vez más estrictas y costosas [5].

De hecho uno de los grandes desafíos de la sociedad es dar respuesta a este asunto vital que es la sostenibilidad, la cual puede ser entendida como una forma racional de mejorar los procesos para maximizar la producción mientras se minimiza el impacto ambiental [6].

**Tabla 1.** Contaminantes producidos por la industria siderúrgica, textil, papel y química [4].

Sector industrial	Forma del contaminante			
	Gas	Residuo sólido y residuos del suelo	Agua	Otros
Hierro y acero	SOx, NOx, HC, CO, H <sub>2</sub> S.	escoria, desechos, lodo de tratamiento de efluentes.	DBO <sup>1</sup> , DQO <sup>2</sup> , aceite, metales, ácidos, fenol, cianuro.	Ruido, material particulado.
Textiles y cuero	SOx, HC	Lodo del tratamiento de efluentes.	DBO, sólidos, sulfatos y cromo, colorantes.	Olor, ruido, material particulado.
Pulpa y papel	SOx, NOx.	Lodo del tratamiento de efluentes.	DBO, DQO, sólidos, Orgánicos clorados.	Olor, ruido, material particulado.
Petroquímica y refinerías	SOx, NOx, HC, CO, H <sub>2</sub> S.	Catalizador agotado, alquitranes, lodo.	DBO, DQO, aceite, fenoles y cromo.	Olor, ruido, material particulado.
Químicos	Químicos orgánicos	Lodo formado en tratamiento de contaminación y residuos del proceso.	DQO, químicos orgánicos, metales pesados, sólidos y cianuro.	Olor, químicos tóxicos.

Según la agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (siglas en inglés EPA), la sostenibilidad está basada en un principio simple: cada cosa que el hombre necesita para su supervivencia y bienestar depende directa o indirectamente del ambiente natural. La sostenibilidad crea y mantiene las condiciones bajo las cuales los humanos y la naturaleza puedan existir en armonía productiva, que permiten cumplir los requerimientos sociales, económicos, entre otros de las generaciones presentes y futuras [7].

El objetivo de este artículo de revisión fue examinar la influencia de la química en la calidad de vida de la humanidad, su impacto sobre el medio ambiente y las medidas o soluciones que han surgido para controlar, prevenir o mitigar dicho efecto.

La siguiente fue la hipótesis planteada en este trabajo: es posible evidenciar los aportes y consecuencias de la industria química en la sociedad, así como justificar las tendencias y desafíos de esta en el futuro bajo los lineamientos de la sostenibilidad?

Respecto al contenido este artículo está compuesto de varias secciones. La primera es la introducción en la que se muestra la trascendencia de la química en la vida del hombre y su relación con el entorno porque produce residuos y consume recursos naturales. La segunda sección trata sobre la química verde, la cual es una posible solución al desbalance entre los procesos y la productividad con la naturaleza (sostenibilidad) por medio de la prevención de contaminantes.

La tercera sección se denomina la importancia de la química, donde se indica cómo ha crecido la industria química desde la década de los ochenta siendo este crecimiento liderado por Asia. También se muestra que la industria química es el tercer productor de CO<sub>2</sub> y que las regiones más contaminantes del mundo son China y Estados Unidos.

El siguiente apartado es la industria química por sectores, en la que se presenta la contribución de esta al sector de la agricultura, la manufactura y a la sociedad en general desde la química básica, química especializada, química para la industria y el consumo final. Otra sección es la regulación ambiental y seguridad de la industria química, aspecto que es relevante en la misma para proteger al hombre, el ambiente natural y prevenir riesgos por tanto se creó el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA).

La última sección denominada desafíos de la industria química señala varios retos que debe enfrentar en el futuro como: reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, las nuevas tecnologías basadas en nanomateriales y disminuir la contaminación del agua.

## 2. QUÍMICA VERDE

La gran preocupación por la sostenibilidad del planeta, provocó que en los Estados Unidos de América se firmara el Acta de Prevención de la Contaminación en el año 1990 en el que se estableció la reducción de las fuentes de contaminación como prioridad para solucionar los problemas ambientales orientado a la industria, el gobierno y a la sociedad. La aprobación de esta acta significó un alejamiento de los antiguos conceptos de control de la contaminación (control de las emisiones) hacia la prevención de la generación de emisiones, esto originó lo que hoy se conoce como “química verde” o “química sustentable” [8].

La química verde, es definida como el uso de técnicas y metodologías de química que reducen o eliminan el uso o generación de materia prima, productos y subproductos que son peligrosos para la salud humana y el ambiente [9]. En otras palabras la química verde busca promover una química limpia al servicio de la humanidad y en armonía con los recursos naturales [10].

A diferencia de los requerimientos regulatorios para la prevención de la contaminación, la química verde es una aproximación innovadora, no regulatoria y económica dirigida hacia la sostenibilidad [11].

La misión de la química verde se encuentra en la página web del instituto de química verde [12] y viene definida como “promover el desarrollo y uso de tecnologías químicas innovadoras que reduzcan o eliminen el uso o generación de sustancias dañinas en el diseño, manufactura y uso de productos químicos”.

La química verde es elucidada por doce principios, los cuales son unos lineamientos marco. Estos principios fueron desarrollados por Warner y Arnas [13, 14] y permiten analizar procesos y establecer qué tan “verde” puede ser una reacción química, un proceso industrial o un producto, los cuales se enuncian a continuación:

1. Es preferible evitar la producción de un residuo que tratar de limpiarlo una vez que se haya formado.
2. Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo, en el producto final, todos los materiales usados durante el proceso.
3. Siempre que sea posible, los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.
4. Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan su eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad.
5. Se evitará, en lo posible, el uso de sustancias auxiliares (disolventes, reactivos de separación, etcétera) y en el caso de que se utilicen se procurará que sean lo más inocuas posible.

6. Los requerimientos energéticos serán catalogados por su impacto medioambiental y económico, reduciéndose todo lo posible. Se intentará llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente.
7. La materia prima ha de ser preferiblemente renovable en vez de agotable, siempre que sea técnica y económicamente viable.
8. Se evitará en lo posible la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos).
9. Se emplearán catalizadores (lo más selectivos posible) en vez de reactivos estequiométricos.
10. Los productos químicos se diseñarán de tal manera que al finalizar su función no persistan en el medio ambiente, sino que se transformen en productos de degradación inocuos.
11. Las metodologías analíticas serán desarrolladas posteriormente para permitir una monitorización y control en tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.
12. Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Los tipos de productos y procesos que han adoptado los principios de la química verde incluyen medicina, cosméticos [15], polímeros [16], producción de alimentos [17], producción de energía [18], empaques, productos de limpieza del hogar y comercial, industria electrónica [19] y automotriz [20].

Los retos que debe enfrentar la química verde son diseñar y utilizar la materia y energía en una forma que incremente el rendimiento y valor mientras se protege la salud humana y el ambiente [11].

### 3. IMPORTANCIA DE LA QUÍMICA

La química ha tenido un gran crecimiento desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Este desarrollo se ha basado en la industria del petróleo y sus derivados. En los últimos años del siglo XX se han desarrollado otro tipo de industrias como la producción de polímeros, materiales semiconductores, productos

farmacéuticos y agroquímicos; así como la aparición de nuevas tecnologías como la nanotecnología que tiene una gran base en la química [21].

Desde mediados de los años ochenta la industria química global ha crecido anualmente en un 7%, alcanzando € 2.4 trillones en 2010. En los últimos 25 años la mayor parte del crecimiento ha sido liderado por Asia, el cual posee actualmente la mitad de las ventas globales. La tendencia clave en la economía mundial es el crecimiento en Asia catalizado por la rápida integración de las economías regionales y sociedades en todo el mundo. Más de la mitad de la población del mundo (cerca de cuatro billones de personas) viven en Asia. Además muchas personas se están moviendo a las grandes ciudades, favorecido por la acumulación de la riqueza y consumo, siendo esta urbanización muy alta en China.

Las ventas de la industria química y su tendencia para el año 2030, se muestran en la fig. 1, en la cual se observa que del año 1985 al año 2010 Asia incrementó en un 49% las ventas de productos químicos y proyectándose un aumento del 66% en las ventas para el año 2030. En tanto que las ventas de Europa y North American Free Trade Agreement (NAFTA) muestran un decrecimiento en los mismos periodos mencionados anteriormente [22].

No obstante [23] sostiene que el crecimiento en las ganancias de los productos químicos no solo será más dinámica en los países en desarrollo de Asia-Pacífico, sino en África, el Oriente Medio y Latinoamérica, debido a ventajas competitivas porque poseen reservas de gas natural, como se observa en la fig. 2.

Como se ilustró anteriormente la industria en general juega un importante papel en el desarrollo de la economía del mundo. De otro lado es el mayor consumidor de recursos naturales y unos de los mayores contaminantes globales.

Uno de estos contaminantes son las emisiones de CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático) generado por el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como fuente de energía, también se genera por la naturaleza de las materias primas utilizadas [24].

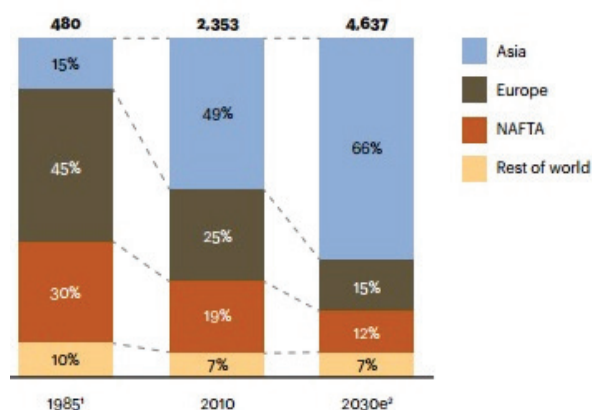


Fig. 1. Ventas de la industria química en el mundo, en billones de euros. 2030 es calculado a precios de 2010 [22].

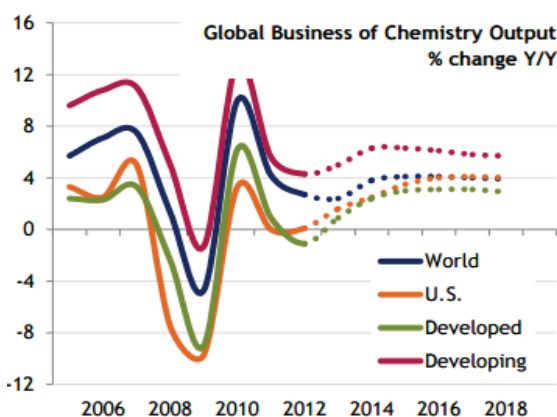


Fig. 2. Crecimiento en las ganancias de la industria química en el mundo [23].

A continuación se observan (Fig. 3 y Fig. 4) las emisiones directas de CO<sub>2</sub> en la industria por sector y por región, notándose que las industrias más contaminantes son la siderúrgica (hierro y acero) y la cementera, estando la industria química en el tercer puesto. En cuanto a las regiones donde se produce más contaminación por la producción de CO<sub>2</sub> se destacan en primer lugar China, en segundo lugar norte américa y en tercer lugar los países que hacen parte de la OCDE europea (Organización ara la Cooperación y Apoyo Económicos) [25].

#### 4. INDUSTRIA QUÍMICA POR SECTORES

Los productos de la industria química se dividen en: química básica, química especializada, química para la industria y el consumo final. Cada una de estas subdivisiones se ampliará a continuación.

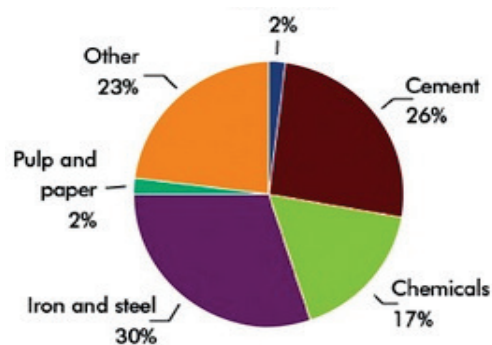


Fig. 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria por sector. Emisión total de CO<sub>2</sub>: 7.2 Gt, [25].

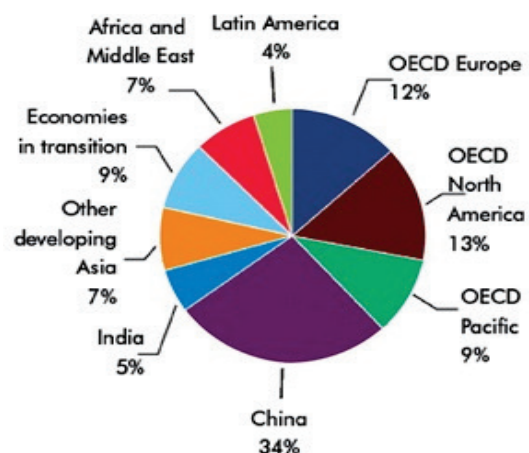


Fig. 4. misiones de co<sub>2</sub> de la industria por región. Emisión total de CO<sub>2</sub>: 7.2 Gt [25].

- **Química básica:** que a su vez se subdivide en petroquímica, polímeros e inorgánica básica.

- **Petroquímicos y polímeros:** La industria petroquímica es una plataforma fundamental para el crecimiento y desarrollo de importantes cadenas industriales como son la textil, la automotriz y del transporte, la construcción, los plásticos, los alimentos, los fertilizantes, la farmacéutica y la química. Estos hidrocarburos son convertidos en un amplio rango de químicos básicos con un uso inmediato (petróleo) o son sujetos a reacciones posteriores para producir un producto final útil (por ejemplo cloruro de polivinilo para hacer tuberías). Sin embargo el principal uso de los petroquímicos es en la elaboración de un amplio número de polímeros [26].



**Tabla 2.** Gasto en i&d en america (millones de us\$), año 2012 [36].

País	Gasto (millones de dólares)
Argentina	3910.37
Brasil	27778.71
Canadá	30751.96
Chile	938.62
Colombia	797.50
México	5160.20
Estados Unidos	452556

Estos polímeros o plásticos derivados del petróleo son no biodegradables causando un problema de eliminación de desechos, de otro lado son materiales que consumen recursos fósiles como el petróleo crudo en grandes cantidades [27, 28].

Los biopolímeros han sido una de las alternativas para ser explotadas y desarrolladas en materiales para el empaque de alimentos debido a que son biodegradables [29].

Desafortunadamente el uso de estos biomateriales como materiales de empaque tienen inconvenientes como pobres propiedades mecánicas y térmicas, poca resistencia al agua y bajas propiedades de barrera al ser comparados con los plásticos convencionales hechos de petróleo, debido a esto muchas investigaciones se centran en mejorar dichas propiedades [30, 31, 32].

- **Inorgánica básica:** los compuestos inorgánicos básicos son utilizados en los sectores de la manufactura y la agricultura, son producidos en grandes cantidades e incluyen el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, el carbonato de sodio, entre otros.

Respecto al ácido sulfúrico es uno de los compuestos más importantes hechos por la industria química; con este reactivo se producen: fertilizantes de fosfato, fenol y propanona, entre otros [33].

El crecimiento futuro del ácido sulfúrico será dirigido por el incremento en la población y la extensión de cultivos de alimentos que requerirán significantes cantidades de fertilizantes [34].

- **Química especializada:** esta categoría cubre una amplia variedad de químicos para la protección de cosechas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), pinturas y tintas, colorantes (tintes y pigmentos). También se incluyen químicos usados en diversas industrias como la textil y del papel.

**Tabla 3.** Fuentes de financiación para i&d en america, año 2012 [36].

País	Go-bierno	Univer-sidad	Empre-sa pública/privada	Organi-zaciones privadas sin ánimo de lucro	Extran-jero
Argentina	74	3.11	21.34	0.95	0.58
Brasil	54.93	1.99	43.07	—	—
Canadá	25.08	17.07	48.37	3.67	5.79
Chile	37.10	9.70	32.91	2.19	18.06
Colombia	41.99	16.38	34.19	4.99	2.42
México	60.80	1.88	35.66	0.81	0.81
Estados Unidos	30.64	2.98	62.98	3.38	—

Existe una tendencia en los Estados Unidos y Europa para centrarse en este sector más que en la química básica porque con una investigación y desarrollo activa (I &D), se generaran químicos de mejor calidad y con rentabilidad más estable. Nuevos productos han sido creados para satisfacer ambas necesidades en los compradores y cumplir a la vez regulaciones ambientales [26].

En el año 2012, se tomó una muestra de 1500 empresas de todo el mundo caracterizadas por invertir más de €34.9 millones de euros en investigación y desarrollo de las cuales 92 pertenecían a la industria química [35].

El gasto en I&D de ciencia y tecnología en América para el año 2012 [36] se detalla a continuación en la tabla 2.

Observándose que los países latinoamericanos con mayor inversión en I&D son Brasil, México y Argentina, en Norteamérica Estados Unidos lidera dicha inversión.

Las fuentes de financiación para la I&D en algunos países del continente americano durante el año 2012 [37] se observa en la tabla 3., notándose que México es el país con más aportes del gobierno y Estados Unidos es el país con más apoyo de la empresa pública y privada.

- **Química para la industria y el consumo final:** este tipo de productos químicos son vendidos directamente al público. Ellos incluyen detergentes, jabones y otros artículos de aseo. La investigación para la obtención de detergentes más efectivos y ambientalmente seguros se ha incrementado en los últimos veinte años, específicamente en encontrar



surfactantes que sean capaces de limpiar casi que cualquier cosa desde una piel sensible hasta grandes plantas industriales [26].

La materia prima para la obtención de los surfactantes es de origen petroquímico y oleofínico (fuentes animales y vegetales), siendo esta última tendencia en concordancia con las regulaciones ambientales porque se buscan productos menos agresivos con el medio ambiente. Sin embargo sus precios son más altos que los tensoactivos sintéticos [38].

Los surfactantes son usados en diferentes aplicaciones, su mayor uso es como limpiadores y detergentes en los hogares, cerca del 56% de la demanda global en 2014 fue para este segmento [39]. Aunque en el campo industrial también son utilizados y últimamente como solventes para realizar extracciones [40].

La región Asia-pacífico domina el mercado global seguido por Norteamérica y Europa. Se proyecta que el mercado de los surfactantes alcance 22,802 Kt (kilotoneladas) en términos de consumo y \$40,286.3 millones de dólares en ventas para el año 2019 [41]. Los surfactantes se clasifican en:

**Aniónicos:** a este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo [42].

Existen otro tipo de surfactantes tales como los no-iónicos y los catiónicos. Los no-iónicos son utilizados como agentes activos de los detergentes destinados a la limpieza de máquinas. Este es un mercado joven y aún de baja expansión debido a los altos costos de producción y a la tecnología de vanguardia que se necesita para producirlos; sólo en algunos países del hemisferio norte se están produciendo tales sustancias. Los surfactantes catiónicos son destinados a la producción de jabones de limpieza doméstica y cosméticos. Estos productos son de gran importancia en la industria, así como en el sector doméstico y de la salud; es por ello que merecen un espacio importante dentro del campo de investigación de la ingeniería química [43].

## 5. REGULACIÓN AMBIENTAL Y SEGURIDAD DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

Siempre que existan procesos en los que se utilicen la temperatura y la presión para modificar la estructura molecular o crear nuevos productos a partir de productos químicos, existe la posibilidad de incendio, explosión o emisión de líquidos, vapores, gases u otros productos químicos intermedios tóxicos e inflamables, por tanto, la seguridad debe estar como una prioridad en las actividades de la industria [44].

Como ya se ha expresado antes existe gran preocupación por el impacto potencial de ciertos productos químicos en los organismos vivos, incluyendo al hombre y el ambiente natural (contaminación del aire, tierra, mar, calentamiento global, cambio climático, agotamiento del ozono de la atmósfera superior y lluvia ácida). Por consiguiente, surgió en la industria química un plan a nivel mundial denominado el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA), el cual comenzó en Canadá en 1984 y es practicado en la actualidad en 60 países. El PCRMA es un programa voluntario de la industria química que promueve la mejora continua en las áreas de seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y su incorporación a la política interna de las empresas, promoviendo el manejo responsable de los productos químicos en todas las etapas de su utilización y la capacitación del personal [45].

Actualmente ya son más de 53 asociaciones nacionales las que participan activamente en este programa entre las que se encuentran las de países como EEUU, Canadá, México, Gran Bretaña, Francia, Japón, Holanda, Alemania, Bélgica, Brasil, Colombia, Chile, India, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, etc., representando más del 80% de la producción mundial de productos químicos [46].

Otra medida ambiental que produce preocupación es el uso de la energía. Primero, porque la fuente de energía proviene de recursos no renovables (petróleo, carbón y gas natural) y en segundo lugar, por las emisiones de dióxido de carbono generadas.

La demanda de energía a nivel mundial se distribuye de la siguiente manera: cerca del 35% corresponde a la industria, 25% al transporte y 40% al consumo residencial y al sector terciario. La industria química ocupa el segundo lugar en consumo de energía, con un gasto del 6% del total de energía, tras la industria siderúrgica [47].

**Tabla 4.** Oferta de energía primaria (o.E.P) y energía renovable, años 1990 y 2010 [58].

\*Mtep millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Año	OCDE Américas	OCDE Oceanía	OCDE Europa	OCDE Total
1990				
O.E.P (Mtep*)	2.260	643	1.620	4.523
%Energía renovable	148,21 (6,6%)	25,85 (4,0%)	93,49 (5,8%)	267,56 (5,9%)
%biocarburente/ bioethanol	—	—	—	—
Año	OCDE Américas	OCDE Oceanía	OCDE Europa	OCDE Total
2010				
O.E.P* (Mtep)	2.691	907	1.814	5.413
%Energía renovable	191,66 (7,1%)	31,40 (3,52%)	188,88 (10,4%)	411,94 (7,6%)
%biocarburente/ bioetanol	24,8%	4,6%	13,2%	18,1%

Las siguientes son fuentes alternas de energía y se ha pronosticado su estado: el consumo de biomasa aumentará perceptiblemente y la energía nuclear avanzará de manera considerable, mientras que las grandes centrales hidroeléctricas y la energía geotérmica se mantendrán estables. Otras fuentes de energía, como la eólica, la solar y las minicentrales hidroeléctricas se multiplicarán por veinte [48].

## 6. DESAFÍOS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

El principal desafío es encontrar formas de reducir la dependencia de fuentes de energía como el petróleo y sus derivados [49]. Una alternativa es remplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable (FER) hecho que presenta varios efectos positivos uno de estos es que la naturaleza local o doméstica de las FER reduce la dependencia de la energía y así aumenta la seguridad del suministro y minimiza el riesgo de interrupciones por razones geopolíticas [50].

De otro lado no solo se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que se disminuyen otros contaminantes como material particulado, sulfuros, nitrógeno, óxidos y compuestos volátiles orgánicos [51]. También las FER tienen una disponibilidad casi ilimitada, lo opuesto a las escasas reservas de los combustibles fósiles [51]. Además promueven la sostenibilidad porque satisfacen las necesidades ambientales-socioeconómicas del presente y futuro del territorio [52].

Teniendo en cuenta que la biomasa es la única fuente de energía renovable basada en carbono, su demanda potencial se ve incrementada considerablemente, como única fuente renovable de combustibles líquidos (sustitutos de las gasolinas y gasóleos minerales), por consiguiente el uso de tecnologías basadas en biomasa son una forma ambientalmente aceptable, en términos de la energía gastada y los efluentes producidos [49].

Es de aclarar que la forma más tradicional de aprovechamiento energético de la biomasa es la combustión y se le considera como un proceso de carbono neutral porque las emisiones de CO<sub>2</sub> son equilibradas con el CO<sub>2</sub> absorbido previamente por las plantas y árboles mediante la fotosíntesis durante su crecimiento. De hecho para el protocolo de Kyoto la biomasa tiene un factor de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) igual a cero. Su uso contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera siempre y cuando sustituya a un combustible fósil [53].

La transformación de la biomasa en combustibles puede llevarse a cabo por vía química, enzimática, o mediante procesos híbridos, siendo la vía química-catalítica una de las que resultados más prometedores a corto plazo [54].

A partir de la biomasa se pueden obtener productos químicos de elevado valor agregado, donde se integra la viabilidad técnica y económica denominada biorefinería. En estas se integra la obtención de energía eléctrica, combustibles líquidos y productos químicos muy variados. Siendo el etanol una molécula muy valorada porque es considerado como un biocombustible equivalente a la gasolina mineral (bioetanol de primera generación) y sirve como precursor mediante diferentes reacciones catalíticas para producir otros productos de elevado valor [55].

La composición de la biomasa determina la capacidad con la que puede ser convertida en productos finales o intermedios útiles e influye en la funcionalidad del producto final. A pesar de la heterogeneidad de la materia prima, su composición se puede dividir en cuatro macromoléculas principales, obteniendo una clasificación bastante homogénea. Principalmente, un 75 % de la biomasa total se corresponde a hidratos de carbono (en forma de celulosa, hemicelulosa y almidón) y un 20 % está formado por polímeros aromáticos más complejos (denominados

lignina), de forma que sólo un 5 % se correspondería a productos minoritarios, como aceites, grasas y proteínas [56].

A continuación se observa en la tabla 4. la oferta de energía primaria (O.E.P), energía renovable y de la OCDE (Organización para la Cooperación y Apoyo Económicos) por regiones y total en los años 1990 y 2010. Colombia, Rusia y Letonia están en proceso de adhesión a la organización [57, 58].

Puede notarse que el aumento en el uso de energía renovable se ha duplicado en Europa en el periodo comprendido entre 1990-2010, aunque también se ha incrementado en América (países miembros: Canadá Estados Unidos, México, Chile, Brasil). La producción de biocarburantes sólo ha sido significativa desde hace cinco años, con un mayor porcentaje en el continente americano.

Otro desafío de la industria química son las nuevas tecnologías basadas en nanomateriales, las propiedades de estos no están siempre bien identificadas y requieren una valoración de los riesgos de posibles exposiciones que surjan durante su fabricación y uso.

Primero que todo se definirá el término nanotecnología la cual consiste en el diseño y la producción de objetos o estructuras muy pequeños, inferiores a 100 nanómetros (100 millonésimas de milímetro). Los nanomateriales son uno de los productos principales de las nanotecnologías, como partículas, tubos o fibras a nanoescala. A medida que la nanotecnología avanza, se van encontrando aplicaciones para los nanomateriales en el cuidado de la salud, en alimentos, la electrónica, los cosméticos, los textiles, la informática y la protección medioambiental [59, 60, 61, 62, 63].

Las propiedades tecnológicas y benéficas de la ingeniería de materiales se deben a su pequeño tamaño, gran relación de superficie a volumen, alta área superficial, reactividad, a menudo poseen excelente conductividad eléctrica, persistencia y alta resistencia a la tracción y su potencial para formar superficies altamente resistentes, durables y que se autolimpian [64].

Sin embargo, se ha encontrado que estos materiales no solamente poseen propiedades sino que en algunos casos pueden causar daños al hombre o al ambiente. De hecho, la mayoría de las propiedades

típicas que los caracteriza (pequeño tamaño en al menos una dimensión entre 1-100 nm, su gran área superficial por peso y su reactividad) son precisamente las propiedades que los hacen tecnológicamente tan valiosos y estas son probablemente las razones para sus efectos dañinos potenciales [65, 66, 67].

Otro importante reto es la contaminación del agua que se ha convertido en un problema global, causado por el incremento del número de industrias y plantas, contaminantes provenientes del sector de la agricultura, residuos domésticos y municipales [68].

La mayor parte de las aguas residuales son descargadas sin tratamiento en los ríos, lagos y aguas costeras lo cual produce más deterioro en la calidad del agua. Un cambio en la gestión del agua urbana es necesaria para mejorar la sostenibilidad del sistema y debe integrar aspectos económicos, sociales y ambientales a través de prácticas como un manejo integrado de agua lluvia, conservación del agua, reutilización de aguas residuales, gestión racional de la energía, recuperación de nutrientes y separación en la fuente [69].

Existe un tipo de contaminante conocido como contaminantes emergentes descubiertos en los afluentes que provienen de actividades industriales y humanas. La gran mayoría de ellos no tienen normas regulatorias y pueden causar potenciales deterioros en la vida acuática. Los convencionales tratamientos de aguas (físicoquímicos y oxidación) no son siempre efectivos para la remoción de estos contaminantes y se requieren otros métodos [70].

Entre las clases de contaminantes emergentes que demandan una más urgente atención (debido a la escasez de datos ambientales y ecotoxicológicos y de métodos para su análisis y a las posibles consecuencias de su presencia en el medio ambiente) se encuentran: los retardantes de llama bromados, los cloroalcanos, los pesticidas polares, los compuestos perfluorados, los fármacos, las drogas de abuso y los metabolitos y/o productos de degradación de las clases de sustancias anteriores [71].

## 7. CONCLUSIONES

La química ha contribuido a mejorar la calidad de vida del ser humano desde la prehistoria, posteriormente con la creación de la industria química se ha obtenido

una mayor cantidad y diversidad de productos pero con la emisión de contaminantes a los suelos, aire y agua, por tanto desde esta misma disciplina y con el apoyo de políticas públicas, la academia e I&D, han surgido soluciones que disminuyan o mitiguen la contaminación al medio ambiente siendo algunas de estas: la Química Verde y el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA).

La sostenibilidad del planeta tierra, es un tema de vital importancia que ha orientado las medidas para reducir la contaminación ambiental producida por las plantas químicas. El uso de recursos naturales (petróleo, carbón, gas natural) para la obtención de energía y el dióxido de carbono generado, así como los demás impactos ambientales, son temas que afectan de una forma directa la sostenibilidad.

Hace aproximadamente veinticinco años Asia ha liderado el crecimiento de la industria química y se proyecta que para el año 2030 conserve esta tendencia, sin embargo, China es el país que más CO<sub>2</sub> produce en el mundo, aunque es de aclarar que estas emisiones no solo provienen de los procesos químicos industriales sino también de la industria siderúrgica (hierro y acero) y la cementera.

El principal desafío de la industria química es encontrar formas de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables como el petróleo y sus derivados, siendo la biomasa la única fuente de energía renovable basada en carbono, convirtiéndose en la única fuente no convencional de combustibles líquidos.

El objetivo planteado en este artículo se ha cumplido, sin embargo un próximo trabajo de revisión bibliográfica se puede realizar sobre la contaminación de los suelos, sus causas y los métodos utilizados para su descontaminación.

## REFERENCIAS

- [1] L. Panizzolo, M. Pistón, M. Terán & M. Torre. "Aportes de la Química al Mejoramiento de la Calidad de Vida". Publicación del programa DAR (Docentes Aprendiendo en Red). Montevideo, Uruguay, Jul. 2012. URL. Disponible: [http://www.unesco.org.uy/educacion/fileadmin/educacion/2012/DAR\\_URUGUAY\\_2012.pdf](http://www.unesco.org.uy/educacion/fileadmin/educacion/2012/DAR_URUGUAY_2012.pdf)
- [2] B. Altava, M. I. Burguete & S. V. Luis, "Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española," *Educación química*, vol.24, pp. 132-138, Feb. 2013.
- [3] R. Mestres, "Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito," *Educación química*, vol. 24, pp. 103-112, Ene.2013.
- [4] X. Wen. "Industrial pollution," *Enciclopedia of life support systems*. URL. Disponible: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-11-02-00.pdf>
- [5] J. C Warner, A. S. Cannon & K. M. Dye, "Green Chemistry," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, pp. 775-799, 2004. doi:10.1016/j.eiar.2004.06.006
- [6] M. Herrero & E. Ibáñez, "Green processes and sustainability: An overview on the extraction of high added-value products from seaweeds and microalgae," *Journal of Supercritical Fluids*, vol. 96, pp. 211-216, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2014.09.006>
- [7] United States Environmental Protection Agency, *What is sustainability?*, 2010, Disponible: <http://www.epa.gov/sustainability/basicinfo.htm#sustainability>
- [8] United States Environmental Protection Agency. *Summary of the Pollution Prevention Act.*, 2009, Disponible: <http://www2.epa.gov/laws-regulations/summary-pollution-prevention-act>.
- [9] W. R. Melchert, B. F. Reis & F.R. Rocha, "Green chemistry and the evolution of flow analysis. A review," *Analytica Chimica Acta*, vol. 714, pp. 8-19. 2012. doi:10.1016/j.aca.2011.11.044
- [10] E. Vargas & L. Ruiz, "Química verde en el siglo XXI; química verde, una química limpia," *Revista cubana de química*, vol. 21, no. 1, pp. 29-32, 2007. URL. Disponible: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/2179/1722>
- [11] J. B. Manley, P. T. Anastas & B. W. Cue, "Frontiers in Green Chemistry: meeting the grand challenges for sustainability in R&D and manufacturing," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, pp. 743-750, 2008. URL. Disponible: doi:10.1016/j.jclepro.2007.02.025



- [12] American Chemical Society, "Green Chemistry Definition", 2010, Disponible: <http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/definition.html> Marzo 19 de 2015.
- [13] P. Anastas, M. Kirchhoff & T. Williamson, "Catalysis as a foundational pillar of green chemistry," *Applied Catalysis A-General*, vol., 221, pp. 3-13, 2001. PII: S0926-860X(01)00793-1
- [14] J. Warner, A. Cannon & K. Dye, "Green chemistry," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, pp. 775-799, 2004. doi:10.1016/j.ear.2004.06.006
- [15] M. M. Heba, "Green, environment-friendly, analytical tools give insights in pharmaceuticals and cosmetics analysis," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 66, pp. 176-192, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2014.11.010>
- [16] S. Rudhzhiah, M. S. A. Rani, A. Ahmad, N. S. Mohamed & H. Kaddami, "Potential of blend of kappa-carrageenan and cellulose derivatives for green polymer electrolyte application," *Industrial Crops and Products*, vol. 72, pp. 133-141, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.051>
- [17] X. Yu, Z. Gao, Y. Zeng, "Willingness to pay for the "Green Food in China," *Food Policy*, vol. 45, pp. 80-87, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.01.003>
- [18] U. B. Demirci & P. Miele, "Overview of the relative greenness of the main hydrogen production processes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 52, pp. 1-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.025>
- [19] A. Scandurra, R. Zafaranab, Y. Tenyac & S. Pignataro, "Chemistry of green encapsulating molding compounds at interfaces with other materials in electronic devices," *Applied Surface Science*, vol. 235, pp. 65-72, 2004. doi:10.1016/j.apsusc.2004.05.139
- [20] A. Ashori, "Review Paper Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!," *Bioresour. Technology*, vol. 99, pp. 4661-4667, 2008. doi:10.1016/j.biortech.2007.09.043
- [21] C. O. Meléndez & A.A. Camacho, "Química verde, la química del nuevo milenio". *Synthesis*, vol. 45, pp. 1-5, 2008. URL. Disponible: [http://www.uach.mx/extension\\_y\\_difusion/synthesis/2008/10/21/quimica.pdf](http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2008/10/21/quimica.pdf)
- [22] A. T. Kearney, "Chemical industry visión 2030: a European perspective," 2012, 15p. Disponible: <http://bit.ly/1KE19Bf>
- [23] American Chemistry Council, "Year-End 2013 Chemical Industry Situation and Outlook American Chemistry is Back in the Game," Dec. 2013. Disponible: <http://www.americanchemistry.com/Jobs/EconomicStatistics/Year-End-2013-Situation-and-Outlook.pdf>
- [24] T. Coakley, N. Duffy, S. Freiburger, J. Fresner, J. Houben, H. Kern, C. Krenn, C. McCarthy, H. & Raupenstrauch. "Uso de la energía en el sector industria, manual para estudiantes, *Project intelligent use of energy at school, intelligent Europe energy*, Oct. 2010. Disponible: [http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES\\_PARA\\_ESTUDIANTES/Manual\\_industria.pdf](http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES_PARA_ESTUDIANTES/Manual_industria.pdf)
- [25] G. bazán & G. Ortiz, "Sobre el uso eficiente de la energía en la industria química," *Energía a debate*, Nov.-Dic., 2009. URL. Disponible: <http://www.energiaadebate.com/Articulos/Noviembre2009/BazanNov09.htm>
- [26] SENER Petroquímica.. SENER, México, 2015. Disponible: [http://www.sener.gob.mx/res/86/Petroquimica\\_final.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/86/Petroquimica_final.pdf)
- [27] M. Avella, J. J. D. Vlieger, M. E. Errico, S. Fischer, P. Vacca & M. G. Volpe, "Biodegradable Starch/Clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications," *Food Chemistry*, vol. 93, pp. 467-474, 2005. doi:10.1016/j.foodchem.2004.10.024
- [28] N. Peelman, P. Ragaert, B. De Meulenaer, D. Adons, R. Peeters, L. Cardon, F. Van Impe, F. Devlieghere, "Application of bioplastics for food packaging," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 32, pp. 128-141, 2013. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>
- [29] A. Sukan, I. Roy & T. Keshavarz, "Review Dual production of biopolymers from bacteria," *Carbohydrate Polymers*, vol. 126, pp. 47-51, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.001>



- [30] M. Abdollahi, M. Rezaei & G. Farzi, "A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan," *Journal of Food Engineering*, vol. 111, pp. 343–350, 2012. doi:10.1016/j.foodeng.2012.02.012
- [31] P. Kanmani & J. W. Rhim, "Physical, Mechanical and Antimicrobial Properties of Gelatin Based Active Nanocomposite Films Containing AgNPs and Nanoclay," *Food Hydrocolloids*, vol. 35, pp. 644–652, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.011>
- [32] A. M. Nafchi, R. Nassiri, S. Sheibani, F. Ariffin & A. A. Karim, "Preparation and Characterization of Bionanocomposite Films Filled with Nanorod-Rich Zinc Oxide," *Carbohydrate Polymers*, vol. 96, pp. 233–239, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.055>
- [33] The Columbia encyclopedia, "Sulfuric Acid" 6th ed. Disponible en: [http://www.encyclopedia.com/topic/sulfuric\\_acid.aspx](http://www.encyclopedia.com/topic/sulfuric_acid.aspx) Accedido: Febrero 2015
- [34]. Chemical Economics Handbook. "Sulfuric acid".. URL.<https://www.ihs.com/products/sulfuric-acid-chemical-economics-handbook.html> Accedido: Febrero 2015
- [35]. Joint Research Centre Directorate-General for Research and Innovation. "The 2012 EU industrial R&D Investment Scoreboard". Luxembourg. 2013. doi:10.2791/30423
- [36]. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana (RICYT), *Red de insumo, Gasto en ciencia y tecnología en dólares*. URL. Disponible: <http://www.ricyt.org/comparativos-sp-469065143> Accedido: Marzo 2015.
- [37] Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana (RICYT), *Red de insumo, Gasto en I&D por sector de financiamiento*. URL. Disponible: <http://www.ricyt.org/comparativos-sp-469065143>. Marzo 31 de 2015.
- [38] M. Álvarez, "La industria de los surfactantes: Tendencias mundiales y perspectivas para Colombia," *Palmas*, vol. 25, no. Especial, Tomo I, pp. 340–353, 2004. URL. Disponible: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1050>
- [39] Ceresana, "Market Study: Surfactants". 2015, URL. <http://www.ceresana.com/en/market-studies/chemicals/surfactants/> .
- [40]. W. Bi, M. Tian & K. H. Row, "Extraction and concentration of tanshinones in *Salvia miltiorrhiza* Bunge by task-specific non-ionic surfactant assistance," *Food Chemistry*, vol. 126, pp. 1985–1990, 2011. doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.059
- [41]. Surfactants Market worth \$40.286.3 Million by 2019, **2015**, URL. : <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/surfactants.asp>
- [42]. J. L. Salager, "Surfactantes tipos y usos," *módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales. cuaderno firp S300-a*. Mérida, Venezuela. 2002. URL. Disponible: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S300A.pdf>
- [43]. N. A Gómez, "Modelamiento y simulación de un reactor industrial de película descendente para la producción de surfactantes aniónicos". (Tesis de maestría dirigida por M.A. Gómez), Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2013. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11816/1/4101005.2013.pdf>
- [44]. R. S. Kraus, "Elaboración de un programa de gestión de seguridad de procesos," *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. URL. Disponible: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/77.pdf>
- [45]. *Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente*, Cámara de la industria química y petroquímica. Disponible: <http://bit.ly/1iQSI57> Abril 04 de 2015.
- [46] *Qué es Cuidado Responsable*. , 2014, Disponible: <http://bit.ly/1jj0H5n>
- [47] A. Sanz. "Materias primas: reservas, suministro de energía y productos básicos de la Industria Química Orgánica", **2014**, Disponible: <http://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-01.php>.

- [48] *Perspectivas de la evolución mundial hasta 2030 en los ámbitos de la energía, la tecnología y la política climática*, 2012, Disponible: [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key\\_messages\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key_messages_es.pdf)
- [49] G. W. Huber & S. Iborra, A. Corma. "Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts and engineering," *Chemical Reviews*, vol.106, pp. 4044-4098, 2006. URL. Disponible: <http://bit.ly/1OXnujr>
- [50]. G. Escribano, J.M. Marín-Quemada & E. San Martín, "RES and risk: renewable energy's contribution to energy security. A portfolio-based approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 549–59, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.015>
- [51]. B. Johansson, "Security aspects of future renewable energy systems: a short overview," *Energy*, vol. 61, pp. 598-605, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.023>.
- [52]. M.C. Chuang & H.W Ma, "Energy security and improvements in the function of diversity indices—Taiwan energy supply structure case study," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 9–20, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.021>.
- [53]. *Biomasa*, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2010, Disponible en: <http://bit.ly/1Ve9siu>.
- [54]. L. Faba, E. Díaz & S. Ordóñez, "La biomasa como materia prima para la obtención de combustibles líquidos," *Ecotimes, revista ambientum.com*, Junio 2013. Disponible en: <http://bit.ly/1YGhxeV>
- [55]. J. Quesada, L. Faba, E. Díaz & S. Ordóñez, "la biomasa como alternativa al petróleo para la obtención de productos químicos: acetona y etanol como moléculas plataforma," *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 5, No. 2, pp. 31-49, 2014. URL. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323631115003.pdf>
- [56] A. Corma, S. Iborra & A. Velti, "Chemical routes for the transformation of biomass into Chemicals," *Chemical Reviews*, vol. 107, no.6, pp. 2411-2502, 2007. URL. Disponible: <https://www.pharosproject.net/uploads/files/cml/1393448498.pdf>
- [57] *Mejores políticas para una vida mejor*, OCDE, Países miembros. Disponible en: <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>. Abril 10 de 2015.
- [58] E., Cerdá, "Energía obtenida a partir de biomasa," *Cuadernos económicos de ice*, no. 83, pp. 117-140. Disponible en: <http://bit.ly/1WnTf7x>.
- [59] Cogeneris SPRL, "Nanomateriales". Disponible en: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/nanomaterials/es/index.htm#1](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/es/index.htm#1)
- [60] P. Brandhoff, H. Marvin, S. Weigel & P. Ruud, "State of the safety assessment and current use of nanomaterials in food and food production," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 40, pp. 200-210. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.009>
- [61]. S. Nazir, T. Hussain, A. Ayub, U. Rashid & A. MacRobert, "Nanomaterials in combating cancer: Therapeutic applications and developments," *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, vol.10, pp.19–34, 2014. URL. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2013.07.001>
- [62]. C. Som, P. Wick, H. Krug & B. Nowack. "Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and façade coatings". *Environment International*, Vol. 37, pp. 1131–1142. 2011 DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.013
- [63]. R. Wu, K. Zhou, C. Y Yue, J. Wei & Y. Pan. "Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials," *Progress in Materials Science*, vol. 72, pp. 1–60, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.01.003>
- [64]. M. C. Roco, C. A. Mirkin & M. C Hersam, "Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study," *Journal of nanoparticle research*, Mar. 2011. URL. Disponible: [https://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/MCR\\_11-0301\\_Nanotechnology\\_Research\\_Directions\\_To\\_2020\\_JNR13.pdf](https://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/MCR_11-0301_Nanotechnology_Research_Directions_To_2020_JNR13.pdf)

- [65] K. Savolainen, H. Alenius, H. Norppa, L. Pylkkänen, T. Tuomi & G. Kasper, "Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies-a review," *Toxicology*, vol. 269, pp.92-104, 2010. doi:10.1016/j.tox.2010.01.013
- [66] A. Manke, L. Wang & Y. Rojanasakul, "Pulmonary toxicity and fibrogenic response of carbon nanotubes," *Toxicology mechanisms and methods*, vol. 23, no.3, pp.196-206, 2013. DOI: 10.3109/15376516.2012.753967
- [67] B.N. Snyder-Talkington, Y. Qian, V. Castranova, N. L. Guo. "New Perspectives for In Vitro Risk Assessment of Multi-Walled Carbon Nanotubes: Application of Coculture and Bioinformatics," *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*, vol. 15, no. 7, pp. 468-492, 2012. doi: 10.1080/10937404.2012.736856.
- [68] Md. S. Islam & M. Tanaka, "Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 48, no.7-8, pp. 624-649, 2004. doi:10.1016/j.marpolbul.2003.12.004
- [69] G. T. Daigger, "Evolving urban water and residuals management paradigms: water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery," *Water Environment Research*, vol.81, no. 8, pp. 809-823, 2009. URL. <http://bit.ly/1KA4sfl>
- [70] M. Grassi, V. Belgiorno & G. Lofrano. "Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process," en *Emerging compounds removal from wastewater natural and solar based treatments*. Lofrano, G (ed), 94p., 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-3916-1\_2
- [71] L. D. Barceló & M. J. López de Alda. "Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes" En *Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas*. URL. Disponible: <http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/15.pdf>. Julio 20 de 2015.

## GUÍA PARA AUTORES

### Tipología de artículos para la revista

Cada uno de los artículos de la revista es evaluado por pares académicos con reconocida experiencia en el área a la cual pertenece el artículo enviado para su consideración en publicación. Los autores pueden presentar para publicación las siguientes tipologías, definidas por los organismos de indexación de las revistas científicas para reconocer la calidad de la publicación.

La revista otorga prelación para la publicación de artículos de tipo 1, 2 y 3.

1. Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y es.
  2. Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
  3. Artículo de revisión. Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.
- Otro tipo de artículos pueden ser considerados para publicación en la revista, dependiendo de su originalidad y aporte al conocimiento, según lo considere el comité científico, el comité editorial y el comité de árbitros de cada número. Entre ellos se cuentan:
4. Artículo corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
  5. Reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

6. Revisión de tema. Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.
7. Cartas al editor. Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista que, a juicio del Comité Editorial, constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.
8. Editorial. Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado, sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

### Envío de manuscritos

Los aspectos de forma deben seguir las normas básicas que la revista establece a la hora de redactar el informe o trabajo, en aspectos esenciales como los titulares, el tamaño de los párrafos, las citas bibliográficas, las nomenclaturas, la proporción de tablas y Figuras, la presentación de los resultados o las citas bibliográficas. En este caso también se recomienda a los autores que se ajusten a la normativa. Es necesario poner especial cuidado en la organización y la estructura del trabajo, el estilo de redacción, la presentación de los resultados en tablas y Figuras, y en la correspondencia entre las referencias citadas y las enumeradas al final del trabajo. Además, conviene no olvidar el ajuste del lenguaje a un entorno internacional, propio de la comunidad científica y profesional, más allá de los modismos propios del país o del área en la que se produzca el artículo.

Los autores deberán remitir los manuscritos de los artículos a través de la plataforma de la revista, a la cual se accede a través de <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, siguiendo las instrucciones que se indican en la plantilla oficial de la revista, consistente en los siguientes requerimientos mínimos:

#### Utilizar plantilla oficial de la revista.

Los manuscritos pueden ser escritos en español o inglés, cuartillas tamaño carta (21.59 cm × 27.94 cm) y márgenes de 2 cm en cada lado.

#### Máxima extensión del artículo.

7.000 palabras.

#### Formato de párrafos

Letra Arial, tamaño 10, espacio doble en columna sencilla.

#### Resumen.

Entre 150 y 250 palabras, en español e inglés. Incluir 3 a 5 palabras clave en orden alfabético, con su equivalencia en inglés.

#### Numeración de títulos y encabezados.

En listas multiniveles con números arábigos hasta el subnivel 3.

#### Cuerpo del manuscrito.

Incluir introducción, metodología y desarrollo evidenciando el aporte al área de ingeniería, es y trabajos futuros.

#### Citaciones y referencias.

Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las REFERENCIAS; en consecuencia, no deben existir REFERENCIAS aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito.

### Proceso de evaluación y arbitraje

Los artículos para la revista *Lámpsakos* se someten a consideración del Comité de árbitros para cada edición. Al momento de enviar su manuscrito, la revista puede solicitarle sugerencias para la conformación del mencionado comité de evaluación, con la condición de que el proceso de dictamen para cada edición exige anonimato.

En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité editorial, quienes determinarán la pertinencia de la publicación.

Una vez establecido que el artículo cumple con los requisitos temáticos, además de los requisitos formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos, quienes determinarán en forma anónima: a) publicar sin cambios, b) publicar cuando se hayan cumplido correcciones menores, c) publicar una vez que se haya efectuado una revisión a fondo y d) rechazar. En caso de discrepancia entre ambos resultados, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación.

El proceso de dictamen se efectúa por pares académicos especialistas bajo la modalidad doble ciego. Cada par académico revisará la calidad, originalidad, relevancia y valor práctico del trabajo.



La notificación de aceptación o rechazo del artículo se realizará vía e-mail. El informe será emitido a los autores durante el mes siguiente al envío del manuscrito. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

En general, los aspectos de fondo más valorados serán la coherencia y la relevancia de la colaboración para el avance del conocimiento académico y profesional de la ciencia. Es necesario tener presente que cada tipología de trabajo tiene su propia estructura textual y conceptual, en función del aporte y de los posibles lectores.

### **Derechos de autor**

La revista *Lámpsakos* requiere a los autores que concedan la propiedad de sus derechos de autor, para que su artículo y materiales sean reproducidos, publicados, editados, fijados y comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro. Cada artículo se acompaña de una *declaración de originalidad* en la que se especifique que no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones antes de conocer la decisión del comité editorial.

### **Originalidad y divulgación de artículos**

Los trabajos publicados en la revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento y podrá ser reproducida por cualquier medio, haciendo mención de la fuente. El autor o autores autorizan a la revista y a la Institución para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico

El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía. Los artículos son producto de un proceso de investigación de los autores y han sido valorados previamente por colegas expertos antes de ser presentados a publicación.

Las opiniones y afirmaciones que aparecen en la publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores y no comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la FUNLAM, la Facultad de Ingenierías o la revista *Lámpsakos*.

## GUIDE FOR AUTHORS

### Typology of articles for the journal

Each paper in the journal is evaluated by academic peers with recognized experience in the area on which the article belongs. Authors may submit their manuscripts for publication, according to the following typologies, defined by indexing agencies of scientific magazines that recognize the quality of the publications. (Publindex, Colciencias–Colombia)

The magazine gives priority to the publication of articles of type 1, 2 and 3.

1. Article of scientific and technological research. Document that presents, in detail, the original results of completed research projects. The structure generally contains four important parts: introduction, methodology, results and s.
2. Article of reflection. Document that presents finished research results from an analytical, interpretative or critical, on a specific topic, using original sources.
3. Review article. Document resulting from a completed investigation, which analyze, systematize and integrate the results of research published or unpublished, in a field of science or technology, in order of accounting for the progress and development trends. It is characterized by a careful literature review of at least 50 references.

Another kind of articles can be considered for publication in the magazine, depending on their originality and contribution knowledge according to the scientific committee and the editorial board of referees committee of each number. Among them are:

4. Short article. Brief document that presents original results preliminary or partial of a scientific or technological research, which usually requires a quick diffusion.
5. Case report. Document that presents the results of a study on a particular situation in order to make known the technical and methodological experiences considered in a specific case. Includes commented systematic review of the literature on analogous cases.
6. Topic Review. Document resulting from a critical review of the literature on a particular topic.
7. Letters to the Editor. Critical positions, analytical or interpretative on documents published in the magazine, which in the opinion of the Editorial Committee are an important contribution to the discussion of the topic by the scientific community of reference.
8. Editorial. Document written by the editor, editorial committee member or a guest researcher on guidelines in the thematic domain of the magazine.

## Requirements of manuscripts

The aspects of form must follow the basic rules that the journal has established for authors when writing their manuscripts, in essential aspects as the titles, the size of paragraphs, quotations, nomenclatures, the presentation of results, the proportion of tables and Figures. Authors should also conform to the rules of quotation of references. Special care is required in the organization and structure of the manuscript, as well as the writing style, the presentation of the results in tables and Figures, and the correspondence between the references cited and listed at the end of work. Moreover, authors must not forget about the language settings according to the international environment, typical of scientific and professional community.

Authors should refer their manuscripts of articles through the journal's platform, which may be accessed on the address <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, following the instructions in the official template magazine, consisting of the following minimum requirements:

### Use official magazine template

Manuscripts may be written in Spanish or English language, letter or A4 sized pages (21.59 cm x 27.94 cm) and 2 cm margins on each side.

### Maximum length of the article

7000 words.

### Paragraphs formatting

Arial letter, size 10, double-spaced in single column.

### Abstract

Between 150 and 250 words in both Spanish and English languages. Include 3-5 keywords in alphabetical order, with their equivalent in Spanish.

### Numbering of titles and headers

In multilevel lists with Arabic numerals to the sublevel 3.

### Body of manuscript

It includes Introduction, Development Methodology and evidencing the contribution to engineering, s and future work.

### Citations and bibliographic references

Numbering according to IEEE format. All citations in the manuscript must be listed in the references. There should not be isolated references that are cited in the body of the manuscript.

## Evaluation process and arbitration

The articles for the Journal "*Lámpsakos*" are subjected to consideration of the Committee of referees for each edition. When authors send their manuscript, the journal may solicit suggestions for the creation of that evaluation committee, based upon the fact that in the dictamination process for each edition requires anonymity.

First, the received articles will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee members, who will determine the relevance of the publication.

Once established the Article complies with the thematic requirements in addition to the formal requirements indicated in these instructions, it will be sent out to external academic peers who determine on an anonymous basis: a) publish without changes, b) publish corrections they have complied with minor corrections, c) publish once having made a thorough review, d) reject. In case of discrepancy between the two results, the text will be sent to a third referee, whose decision will define its publication.

Dictamination process is carried out by academic peers specialists under double-blind mode. Each pair will review academic quality, originality, significance and practical value of the work.

Notification of acceptance or rejection of the article will be via e-mail. The report will be emitted into the authors during the month following the submission of the manuscript. The results of the academic opinion will be final in all cases.

In general, most valued aspects of background will be the consistency and relevance of collaboration in advancing academic and professional knowledge of science. It is necessary to remember that each type of job has its own textual and conceptual structure, depending on the amount and potential readers.

## Copyright

The journal *Lámpsakos* requires granting authors ownership of their copyrights, for their item and materials to be reproduced, published, edited, set and reported and publicly transmitted in any form means, and their distribution in the number of copies required, and public communication, in each of

its forms including the making available to the public through electronic, optical or other purpose any technology exclusively scientific, cultural, media and non-profit. It has the letter of assignment of rights to do so.

### **Originality letter**

The works published in the magazine, without exception, are welcomed to the rules of Copyleft and Creative Commons, and that the publication is freely distributable for knowledge, and may be reproduced by any means making mention of the source. The author or authors authorize the magazine and the Institution to edit and disseminate/publish the article by any national and/or international, print or electronic.

Each article is accompanied by a statement of originality in specifying that has not been published and not simultaneously submitted to other publications before knowing the decision editorial committee.

Authors accept the editorial policies and guidelines of the guide. Their articles are the result of a research of the authors and has been previously assessed by expert colleagues before acceptance for publication.

Opinions and affirmations accepted for publication reflect exclusively the points of view of their authors and do not necessarily compromise the policies and thinking of either Fundación Universitaria Luis Amigó, the Faculty of Engineering or the journal *Lámpsakos*.