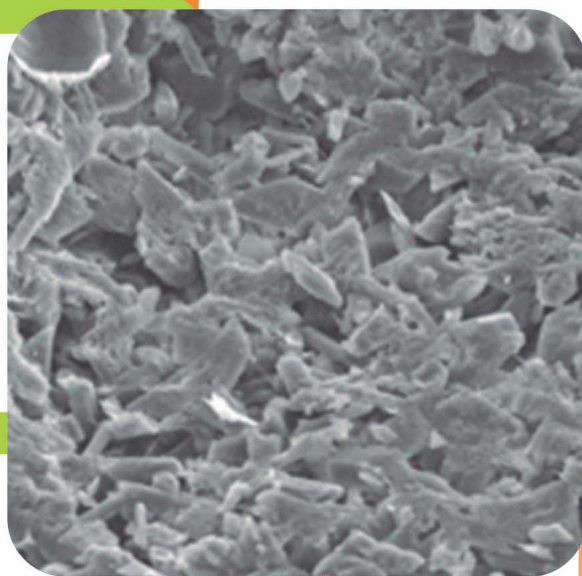




INFORMADOR TÉCNICO



Volumen 79 Número 1 Enero - Junio 2015 • ISSN 0122-056X • e-ISSN 2256 - 5035



ISSN 0122-056X

e-ISSN 2256 - 5035

Tarifa Postal Reducida No. 2015 - 179 4-72,
vence 31 de Dic. 2015

ASTIN
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA

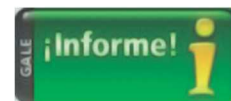


Informador Técnico
Título Abreviado: Inf. Téc.
ISSN 0122 - 056X
e-ISSN 2256 - 5035
Periodicidad: Semestral
Enero - Junio 2015

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Regional Valle
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - ASTIN

Calle 52 # 2Bis - 15
Teléfonos: 57 (2) 431 58 00 ext. 22694
Email: revistaitastin@sena.edu.co
<http://informadortecnico.senaastin.com>
http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html
Cali, Valle del Cauca, Colombia

Indexada en:



Registrada en:



Alfonso Prada Gil
Director General del SENA

Lucila Gutierrez Carrión
Directora (e) SENA Regional Valle

Aura Elvira Narváez Agudelo
Subdirectora Centro Nacional de
Asistencia Técnica a la Industria –ASTIN
y Editora de la Revista

Leonardo Coy
Coordinador Misional y
del Servicio de Información y
Divulgación Tecnológica –SIDT

Julia Emma Zúñiga Rivera
Coordinadora

Elizabeth Enriquez Quintero
Diagramación y Diseño

Comité Científico

Eric Campos Cantón
Ph.D. of Applied Mathematics, Instituto Potosino de Investigación
Científica y Tecnológica A.C.
San Luis Potosí, S.L.P., México

Héctor Fabio Zuluaga Corrales
Ph.D. en Química. Jefe Departamento de Química,
Universidad del Valle, Cali, Colombia

Hernán Gabriel Svoboda
Ph.D. en Ingeniería, Profesor Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires, Argentina

José Luis Munuera Alemán
Ph.D. en Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de Murcia, España

Juan Muñoz Saldaña
Ph.D. Profesor Investigador, Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
- Cinvestav - Unidad Querétaro - México

María Elena Gómez de Prieto
Ph.D. en Ciencias Físicas. Directora Grupo de Películas Delgadas,
Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Martín Ignacio Pech Canul
Ph. D. Materials Science and Engineering.
Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA. EUA, México

Pedro José Arango Arango
Ph.D. en Ingeniería y Tecnología de Materiales.
Director Laboratorio de Física de Plasma, Universidad Nacional
de Colombia, Sede Manizales, Colombia

Roberto Briones Gallardo
Ph.D. en Ciencias Fisicoquímicas del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí – México

Comité Editorial

Andrés Felipe Hernández Moreno
Ph.D. Postdoctoral Fellow
School of Chemical & Biomolecular Engineering
Georgia Institute of Technology

Fabio Emiro Sierra Vargas
Posdoctorado en Ingeniería Energías Renovables.
Director del Grupo de Investigación en Gestión de la
Energía y de Mecanismo para Generación Limpia,
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Federico Sequeda Osorio
Ph.D. Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Materiales,
Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Cali, Colombia

Gilberto Bejarano Gaitán
Posdoctorado en Ingeniería con énfasis en Materiales.
Docente investigador Departamento de Ingeniería Metalúrgica
y de Materiales. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Henry A. Colorado Lopera
Ph.D. en materiales, MSc en Ingeniería de materiales,
MSc. en Ciencias de los Materiales
University of California, Los Ángeles, EE.UU.

José Ignacio Huertas
Ph.D. en Ciencias, Ms.C en Ingeniería Mecánica.
Director del CIMA, Instituto Tecnológico y Estudios Superiores
de Monterrey, México

Nelly Cecilia Alba de Sánchez
Ph.D. en Ciencias Físicas.
Profesora titular Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia

Ruby Mejía de Gutiérrez
Ph.D. en Ciencias Químicas, profesora titular,
Coordinadora del programa de posgrado de la Escuela
de Ingeniería de Materiales. Directora Grupo de Materiales
Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Yesid Aguilar Castro
Ph.D. en Nuevos Materiales y sus Tecnologías.
Director Grupo EIMAT, Universidad del Valle, Cali, Colombia

ISSN: 0122-056X
e-ISSN: 2256-5035
Impresión y acabados:
Traducción al inglés:
Tiraje: 300 ejemplares
Enero - Junio del 2015

Revista Informador Técnico

Misión: Publicar artículos de alta calidad tanto científicos como de casos exitosos considerando la temática de desarrollo tecnológico industrial y de calidad.

Visión: Ser una revista que genere interés entre los investigadores más importantes del mundo para publicar sus artículos.

Evaluación de artículos: Para garantizar la visibilidad de la revista y la igualdad de oportunidad en los manuscritos se cuenta con un sistema de evaluación a ciegas por parte de académicos e investigadores de trayectoria en el campo de estudio de la investigación, adscritos a instituciones diferentes de los autores. Todos los manuscritos recibidos serán leídos por los editores, y si cumplen con las directrices de la revista se asignará su evaluación por los árbitros respectivos.

Redacción de manuscritos: El Informador Técnico sigue las pautas de Colciencias para la indexación de las publicaciones seriadas, dando preferencia a los artículos de investigación, reflexión, revisión y casos exitosos (reportes de casos). Al final de la revista se presentan las directrices para la publicación de artículos tanto en español como en inglés.

Distribución de la revista: Se realiza en dos formatos: Impreso, en las modalidades de canje, donación, depósito legal, suscripciones gratuitas a comunidades educativas, autores, árbitros y empresarios de los sectores de la cadena productiva; Virtual, mediante correo electrónico, puede ser descargada desde la página <http://informadortecnico.senaastin.com>

Financiación de la revista: La financiación de la revista es responsabilidad del Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-, regional Valle, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN-, mediante el establecimiento de una asignación presupuestal.

Suscripción Para suscribirse descargue el formato de la página web de la revista: <http://informadortecnico.senaastin.com>

Reproducción de artículos: Se autoriza la fotocopia de artículos para fines académicos citando la fuente.

Acceso en línea: <http://informadortecnico.senaastin.com>; para consultar todas las ediciones: http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html

Revista Informador Técnico

Missão: Publicar artigos de alta qualidade em ambos os casos científicos e bem-sucedidos, considerando os tópicos do desenvolvimento da tecnologia industrial e qualidade.

Visão: Ser uma revista que gere interesse entre os principais pesquisadores do mundo a publicar seus artigos.

Avaliação de artigos: Para garantir a visibilidade da revista e a igualdade de oportunidades nos manuscritos, temos um sistema de avaliação cega por acadêmicos e pesquisadores da área de estudo em diferentes instituições. Todos os manuscritos são lidos pelos editores, e se cumprem as diretrizes da avaliação se conferirá a avaliação.

Elaboração dos manuscritos: O Informador Técnico segue as diretrizes da Colciencias para a indexação, com preferência dada aos artigos de pesquisa, reflexão, revisão e casos de sucesso. No final da revista se apresentam as diretrizes para a publicação de artigos em espanhol e Inglês

Distribuição da revista está disponível em dois formatos, impressão, nas modalidades de troca, doação, depósito legal, subscrições livres para comunidades educativas, autores, árbitros e sectores de actividade da cadeia de abastecimento; Virtual, por e-mail e pode ser baixado da página <http://informadortecnico.senaastin.com>

Financiamento do Magazine: é responsabilidade do através do Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-, regional Valle, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN-, estabelecimento de uma dotação orçamental.

Subscrição Descarregue o Formato disponível na pagina web do Magazine <http://informadortecnico.senaastin.com>

Reprodução dos artigos: é permitido fotocopiar artigos para fins académicos com atribuição a fonte.

Acesso on-line: <http://informadortecnico.senaastin.com>; e para consultar todas as edições http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html

Revista Informador Técnico

Mission To publish high-quality scientific articles and success stories in the fields of industrial and technological development and quality-related issues.

Vision To become a journal that high-level nationally and internationally recognized researchers and experts seek to publish their articles.

Acceptance of articles for publication: All papers submitted to the journal are initially assessed by the Editorial and Scientific Committees and those complying with the journal's guidelines and fields of expertise are then subjected to double-blind peer review to ensure transparency and equal opportunity for all submitted papers. Peer review is carried out by senior academic members and/or researchers with ample expertise in the pertinent field of study, affiliated to institutions different from those of the authors.

Preparation of papers: The journal follows the guidelines of Colombia's Administrative Department of Science, Technology, and Innovation (COLCIENCIAS) for indexing serial publications, giving preference to research, reflection, and review articles, as well as success stories (case reports). Guidelines for publishing articles are provided in both Spanish and English.

Distribution: Either in hard copy, through exchange, donation, legal deposit, and free subscription (educational communities, authors, reviewers, and entrepreneurs from the production chain sectors), or virtually via e-mail. The journal may also be downloaded from <http://informadortecnico.senaastin.com>.

Funding: The journal is funded by the Center of Technological Development and Technical Assistance to Industries (CDT-ASTIN) of Colombia's National Learning Service (SENA).

Subscriptions: To subscribe, please download the corresponding format from the journal's web site: <http://informadortecnico.senaastin.com>

Article reproduction: Articles may be photocopied for academic purposes, citing the source.

On-line access: <http://informadortecnico.senaastin.com>; to consult all issues: http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html

INFORMADOR TÉCNICO

Volumen 79 • Número 1 • Enero-Junio 2015 • ISSN 0122-056X • e-ISSN 2256-5035

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	5
 ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN	
Evaluación Electroquímica de Recubrimientos Zn-Fe depositados con corriente pulsante	6
<i>Electrochemical evaluation of Zn-Fe coatings deposited with pulsed current</i> Edilberto Tovar Quiroz, Andrea del Pilar González Sánchez, Luis Fernando Lozano Gómez	
Propiedades mecánicas de Recubrimientos de Ti-Si-N sintetizado por pulverización catódica reactiva.....	11
<i>Mechanical properties of Ti-Si-N Thin films produced by reactive magnetron sputtering</i> Jose Luis Guerra Betancourt, Juan Manuel González Carmona, Alexander Ruden Muñoz, Carolina Ortega, Federico Sequeda	
Caracterización Físico - Química de Pellets producidos a partir de mezclas 50/50 Carbón Bituminoso/Madera Residual	18
<i>Physico-chemical characterization of pellets produced from mixtures 50/50 bituminous coal / wood</i> Luis Eduardo Atuesta Boada, Fabio Sierra Vargas	
Lightweight composites based on gypsum with reinforcement of rice husk and polystyrene	26
<i>Materiales compuestos ligeros basados en yeso con refuerzo de fibra de cascarilla de arroz y poliestireno</i> Juan David Pardo, Rafael Andrés Robayo, Luis Anderson Trejos, Silvio Delvasto Arjona	
Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus - DP, basado en microcontrolador	33
<i>Implementation of a passive device for a Profibus - DP net-work, based on microcontroller</i> Asfur Barandica López, Carlos Julio Ramírez Borrero, Melani Gisella Viveros Moreno	
Estudio prospectivo de la industria del plástico y el caucho asociada al sector cuero, calzado y marroquinería empleando metodología Delphi y análisis estructural	42
<i>Prospective study on rubber and plastic sector related with leather and footwear industry using Delphi method and structural analysis</i> Sandra Milena Velásquez Restrepo, Gabriel Jaime Peláez Arroyave, Diego Hernán Giraldo Vásquez, Juan Camilo Ortiz Serna	
Modelo de interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Gestión de aprendizaje	53
<i>Model of Semantic interoperability between Learning Management Systems</i> Alex Julián Dorado, Carolina González Serrano, Jovani Alberto Jiménez Builes	
 ARTICULOS DE REVISIÓN	
Ambidestreza organizacional y desempeño: El papel de las relaciones inter-organizacionales	74
<i>Organizational ambidexterity and performance: the role of inter-organizational relationships</i> Miguel Solís-Molina, Miguel Hernández-Espallardo, Hector Augusto Rodríguez-Orejuela	
Polihidroxicanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial	93
<i>Polyhydroxyalkanoates (PHA's) produced by bacteria and its potential application to industrial level</i> Ana Carolina Lemos Delgado, Alexis Mina Córdoba	

EDITORIAL

La revista INFORMADOR TÉCNICO del Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria- ASTIN rinde homenaje póstumo a RODOLFO MARTÍNEZ TONO fundador del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, hombre visionario, al crear una de las entidades más queridas por los colombianos quien trazó una senda para impactar el desarrollo tecnológico, económico y social del país a través de la formación profesional integral.

En ese trayecto institucional, el SENA vincula a los aprendices en la ejecución de proyectos de investigación aplicada a través de sus diferentes programas de formación, ellos, en conjunción con sus instructores, entregan resultados importantes que se implementan para fortalecer la competitividad de las empresas y de la institución así como la presentación de artículos para la difusión de la información y el conocimiento que se asimila en cada proyecto y que son publicados en esta revista.

El Informador Técnico desde su primera edición en septiembre de 1982, se enfoca en la divulgación de resultados de investigaciones científicas y tecnológicas, es así como para esta edición se presenta el caso: “Estudio prospectivo de la industria del plástico y el caucho asociada al sector cuero, calzado y marroquinería empleando metodología Delphi y análisis estructural”, que trata sobre los nuevos programas de formación acordes a las necesidades de la industria. Asimismo, los artículos: “Modelo de interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Gestión de aprendizaje” que utiliza el Learning Management System (LMS) para ponerlo al servicio de todos los niveles educativos y áreas académicas y “Ambidestreza organizacional y desempeño: el papel de las relaciones inter-organizacionales”, en el que se destaca el aporte que las relaciones inter-organizacionales tienen para complementar los esfuerzos internos de innovación de las empresas, entregan conocimiento actualizado sobre herramientas de aprendizaje que incrementan la productividad y competitividad en las organizaciones.

Otros artículos como: “Polihidroxialcanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial”, que plantea el gran

potencial de las bacterias en aplicaciones que van desde la manufactura de productos desechables de uso común, hasta productos biomédicos y farmacéuticos de alto valor agregado, que son biodegradables y se pueden fabricar de una forma sostenible y amigable con ambiente, utilizando materias primas renovables o de desecho industrial, “Caracterización Físico - Química de Pellets producidos a partir de mezclas 50/50 Carbón Bituminoso/Madera Residual”, que trata de la producción de nuevos materiales a partir de mezclas carbón/madera, aprovechando las propiedades energéticas de estos materiales , para obtener un producto con menor densidad física y mayor densidad energética que los pellets de 100% madera, y que generan menos emisiones contaminantes con relación a aquellos con 100% de carbón, “Lightweight composites based on gypsum with reinforcement of rice husk and polystyrene”, donde se presentan compuestos aligerados de matriz de yeso reforzados con cascarilla de arroz y partículas de poliestireno, mostrando que estas partículas permiten la obtención de materiales compuestos aligerados , “Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus - DP, basado en microcontrolador” que le ofrece a la industria nacional soluciones para mejorar sus procesos productivos con costos inferiores a las opciones importadas que ofrece el mercado. En el campo de los recubrimientos duros se presenta el título “Evaluación Electroquímica de Recubrimientos Zn-Fe depositados con corriente pulsante” para evaluar la resistencia a la corrosión de un recubrimiento metálico Zn-Fe por vía electrolítica sobre sustratos de lámina de acero cold-rolled. Por último, el artículo “Propiedades mecánicas de Recubrimientos de Ti-Si-N sintetizado por pulverización catódica reactiva” presenta el estudio del efecto de las propiedades estructurales, mecánicas y tribológicas depositando recubrimientos de TiSiN mediante D.C Magnetrón Sputtering reactivo sobre sustratos de acero inoxidable AISI 304, variando el flujo de N_2 .

Con estos importantes artículos , entregamos el primer número de la edición 79 del informador técnico que continua en su proceso de alcanzar altos estándares y avanzar en su meta de convertirse en una de las revistas más reconocidas en el mundo.

AURA ELVIRA NARVÁEZ AGUDELO
Editora
Subdirectora ASTIN
SENA REGIONAL VALLE

Evaluación Electroquímica de Recubrimientos Zn-Fe depositados con corriente pulsante

Electrochemical evaluation of Zn-Fe coatings deposited with pulsed current

Recibido: 20 - 11 - 2014 Aceptado: 20-05-2015

Edilberto Tovar Quiroz¹
Andrea del Pilar González Sánchez²
Luis Fernando Lozano Gómez³

Resumen

Se presenta la caracterización electroquímica para evaluar la resistencia a la corrosión de un recubrimiento metálico Zn-Fe por vía electrolítica sobre sustratos de lámina de acero cold-rolled. Los recubrimientos se depositaron mediante un generador de funciones, un osciloscopio y una celda electrolítica de 50 ml, provista de un ánodo soluble de cinc puro. Los reactivos utilizados son de grado analítico, y las pruebas se realizaron a temperatura de 25°C. No se utilizaron agentes complejantes ni abrillantadores; para que el proceso sea ambientalmente limpio. La caracterización electroquímica se realizó con mediciones de potencial de circuito abierto, resistencia a la polarización lineal y Espectroscopia de Impedancia Electroquímica muestran que dentro del rango de ciclo de trabajo desde el 87,5 al 97,5%; y con variación de frecuencias entre 40 y 100 Hz, el efecto de la corriente pulsante inversa favorece la resistencia a la corrosión del recubrimiento para valores de frecuencia de 100Hz; la muestra con mayor resistencia a la corrosión se obtuvo con un ciclo de trabajo de 90%, al tener la mayor pendiente en la curva de resistencia a la polarización lineal de las muestras analizadas.

Palabras clave: Lpr; Electrodeposición; aleación Zn-Fe; corriente pulsada; ciclo duty; Potencial de reducción.

ABSTRACT

This work presents the electrochemical characterization to evaluate the corrosion resistance of Zn-Fe metal coating electroplated foil substrates cold-rolled steel. The coating is deposited by a function generator, an oscilloscope and an electrolytic cell of 50 ml, provided with a soluble anode of pure zinc. The reagents used were analytical grade, and the tests were performed at a temperature of 25°C. No complexing agents were used or polishes; so that the process is environmentally clean.

¹ Colombiano, Ingeniero Mecánico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. edilberto.tovar@uptc.edu.co.

² Colombiana, Tecnólogo Química Aplicada a la industria. adgonzalez20@misena.edu.co.

³ Colombiano, Ingeniero Metalúrgico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. fernandolozanouptc@hotmail.com.

The electrochemical characterization measurements made with open circuit potential, linear polarization resistance and electrochemical impedance spectroscopy show that within the range of duty cycle from 87.5 to 97.5%; and with varying frequencies between 40 and 100 Hz, the effect of the reverse current pulse promotes corrosion resistance coating for frequencies of 100Hz; the samples with higher corrosion resistance was obtained in 90% duty cycle, and are shown in the content of this article.

Keywords: duty cycle; Electroplating; LPR; pulsed current; reduction potential; Zn-Fe alloy.

INTRODUCCIÓN

El electro-recubrimiento con corriente pulsante inversa (PRC) es una técnica en la cual una corriente directa (DC) es reemplazada con ondas de corrientes de geometrías regulares o irregulares. Esta técnica se ha reconocido por un largo tiempo, el método de electro-recubrimiento empleando corrientes moduladas data de 1951, sin embargo el uso de pulsos catódicos simples se estudió fuertemente en los años 70, la técnica Electro-chapado (*Electroplating*) y su aplicación por pulsos habilita la ejecución de densidades superiores de chapado por lo que refina el tamaño de grano, mejora la ductilidad y la conductividad de los depósitos, elimina inclusión de impurezas. (Silveston, 2013).

Los recubrimientos de Zn y sus aleaciones sobre sustratos de acero de bajo carbono ofrecen una variedad de aplicaciones en la industria debido a su costo moderado, y su relativa sencillez de obtención. Adicionalmente, la corrosión del acero es causa frecuente de pérdidas económicas debido a que el material pierde propiedades mecánicas y de durabilidad afectando la seguridad de las personas debido a la falla de estructuras y vehículos (Krugger, 2003).

Se depositaron electro recubrimientos mediante un electrolito que contenía iones de cinc y hierro en solución ya que la co-deposición de estos dos elementos sobre el acero podría mejorar el comportamiento frente a la corrosión respecto al zinc puro y a otros recubrimientos de Zn con elementos de aleación del grupo del hierro (Carcel, 1990). Sin embargo, es tema de experimentación, encontrar los parámetros (Lodhi *et al.*, 2007; Bajat *et al.*, 2004) de frecuencia y ciclo duty, de acuerdo con el recubrimiento que se desee obtener, ya que los cambios en estas variables, se reflejan en el tipo de recubrimiento obtenido.

La electrodeposición por pulsos se fundamentó en la aplicación de diferentes geometrías de corriente tanto

en los pulsos catódicos como en los pulsos anódicos. La introducción de la técnica Pulse Reverse Current PRC reduce el uso de aditivos, los cuales limitan la ductilidad y la conductividad eléctrica de los depósitos; modificando los parámetros de la onda pulsante, se obtienen cambios en la composición estructura y porosidad de los depósitos (Chandraseka, 2008).

METODOLOGÍA

En la obtención de los electro-recubrimientos se usó: un volumen del electrolito de 50 ml, reactivos de tipo analítico, un electrolito ácido (pH=4,3) compuesto de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 160 g/L, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 16 g/L, H_3BO_3 12 g/L, Na_2SO_4 40 g/L, (Praveent, 2011), a una temperatura de 25°C y con un tiempo de deposición de 5 minutos.

Los ensayos de electrodeposición con corriente pulsante inversa (PRC) se realizaron de manera dinámica, se utilizó una celda con capacidad de 50 mililitros. Como cátodos en cada uno de los procesos se emplearon láminas de acero cold rolled de 6 cm² de área y ánodos consumibles de Zn con una pureza del 99%. Antes del proceso de deposición, los cátodos se sumergieron a un proceso de limpieza de desengrase con ayuda de ultrasonido en una solución de Alcohol Isopropílico. Para el ultrasonido se usó un equipo CLEAN ULTRASONIC, con una frecuencia de entrega de HF 35 kHz. Después del ultrasonido se realizó un enjuague electrolítico con agua desionizada, y luego se recubrieron con la técnica de corriente pulsante inversa (PRC).

Con onda cuadrada se realizaron electro-depósitos, como se observa en la figura 1. La aplicación de pulsos de potencial ocurrió rápida y alternativamente entre dos valores diferentes. La composición y espesor del depósito, es posible controlarla regulando la amplitud y ancho de pulso. (Paunovic, 2010; Chandrasekar, 2008; Ravindra, 2008).

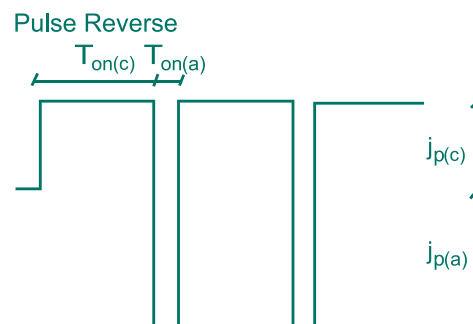


Figura 1. Onda cuadrada generada con corriente pulsante inversa
Fuente: (Silveston,2013).

Durante cada prueba se verificó y se mantuvo constante el pH en un valor de 4,3, los depósitos se realizaron sin agitación del electrolito, sobre sustratos de láminas de acero cold-rolled y con el acabado de fábrica. Se trabajó con una dimensión efectiva de la muestra de 2 cm x 3 cm y espesor de 1mm.

En la figura 2 se presenta el equipo de laboratorio Generador de Funciones AFG 2125 GW INSTEK, osciloscopio Gos 1152^a Gw Instek, pertenecientes al Centro de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN) SENA.

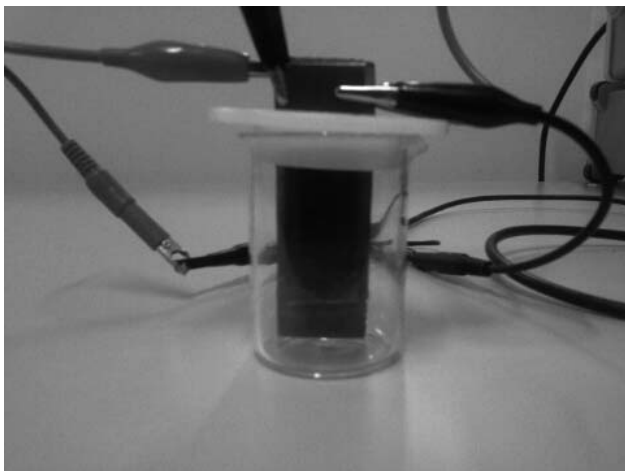
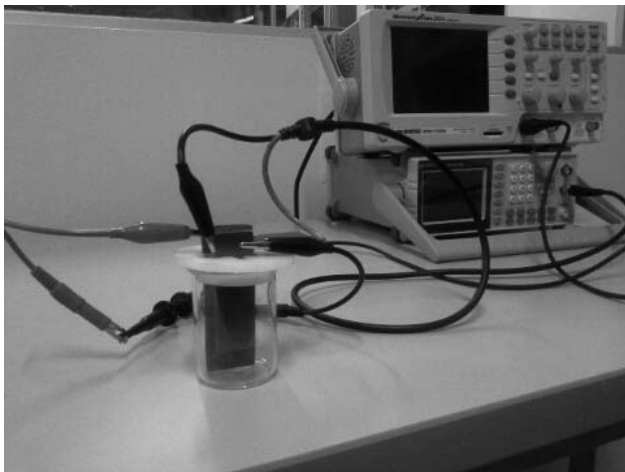


Figura 2. Imagen del montaje utilizado como unidad de electrodeposición para laboratorio
Fuente: Los autores

A cada una de las muestras recubiertas se les realizaron: ensayos de Potencial de circuito abierto, resistencia a la polarización lineal y Espectroscopia de impedancia electroquímica; y se obtuvieron diagramas con gráficas con un equipo marca GAMRY modelo PCI-4; perteneciente a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Las muestras se sometieron a una solución de NaCl al 1%. Los resultados permitieron evaluar si la técnica

de corriente pulsada, presentó cambios en la resistencia a la corrosión del material recubierto.

RESULTADOS

Potencial de Equilibrio

En los recubrimientos depositados, el potencial de equilibrio, se encontró cercano a:

-1V, como se observa en la figura 3. Los depósitos realizados con un ciclo Duty de 90% y con una variación de la frecuencia mostraron que para un valor de 100 Hz, se obtuvo un valor de potencial de equilibrio más negativo.

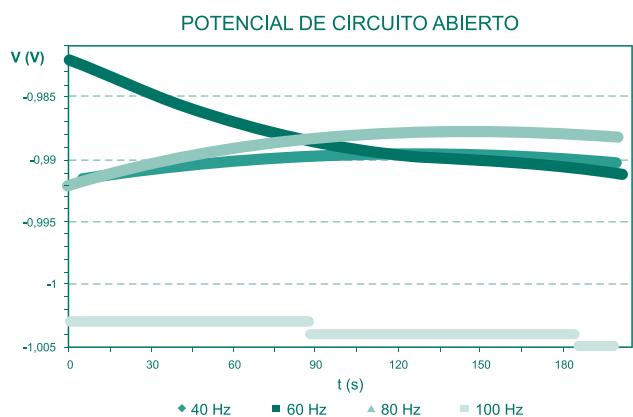


Figura 3. Curvas de potencial de circuito abierto para recubrimientos depositados con un ciclo Duty de 90% y variación de la frecuencia.
Fuente: Los autores

Resistencia a la Polarización Lineal

En las figuras 4 y 5 se presentan las curvas de resistencia a la polarización lineal, realizadas a los recubrimientos con un ciclo Duty de 90%, el mayor valor se obtuvo para el recubrimiento realizado con una frecuencia de 100 Hz.

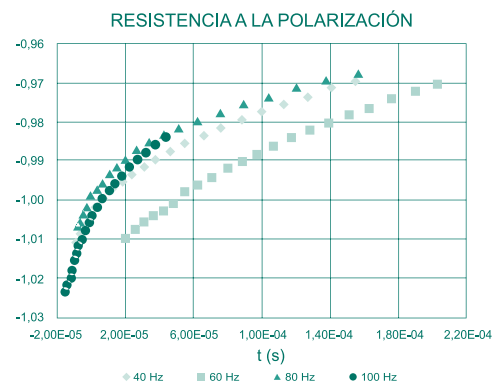


Figura 4. Gráfica de resistencia a la polarización en función de la frecuencia. Fuente: Los Autores.

Las gráficas obtenidas con el software *Gamry Echem Analyst* mostraron que a medida que se aumentó la frecuencia en la realización del depósito, las curvas presentaron un incremento en la pendiente a una frecuencia de 100 Hz.

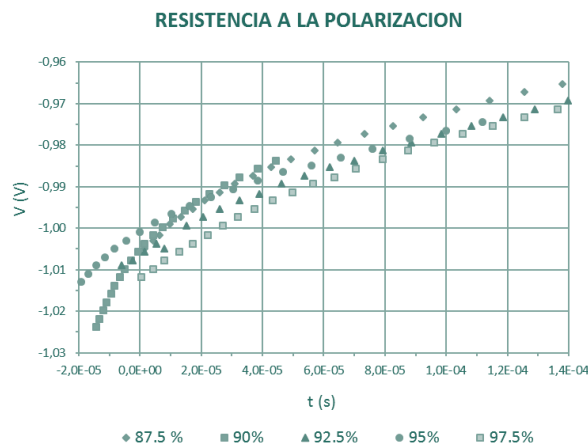


Figura 5. Gráfica de resistencia a la polarización en función del ciclo duty.
Fuente: Los Autores.

En la figura 6 se observa como la pendiente de la curva de polarización lineal, permitió calcular la velocidad de corrosión, usando el software *Gamry Echem Analyst* y seleccionando dos puntos sobre la curva con valores de más o menos 10 mV arriba y abajo del potencial de equilibrio y trazando una recta entre ellos; el valor de velocidad de corrosión se calculó en milésimas de pulgada por año (mpy), obteniéndose un valor de 968 mpy.

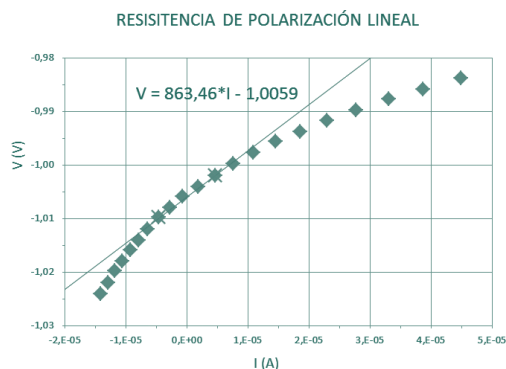


Figura 6. Gráfica de resistencia a la polarización lineal; para el recubrimiento realizado a una frecuencia de 100 H
Fuente: Los Autores

La corriente pulsada con tiempos anódicos mayores de 90% a partir del ciclo Duty, presentó el recubrimiento con la menor velocidad de corrosión respecto a los demás recubrimientos, por presentar la mayor pendiente de la curva de polarización lineal; así mismo la velocidad de corrosión disminuyó. En la figura 7 se observa el diagrama

de Bode donde los valores de impedancia de la solución electrolítica se conservaron cercanos para cada una de las deposiciones, reflejando la estabilidad del electrolito así mismo se ratificó la mayor resistencia de polarización del recubrimiento representado por la línea graficada en la parte superior izquierda cuyo valor se acerca a los 1 KOhm.

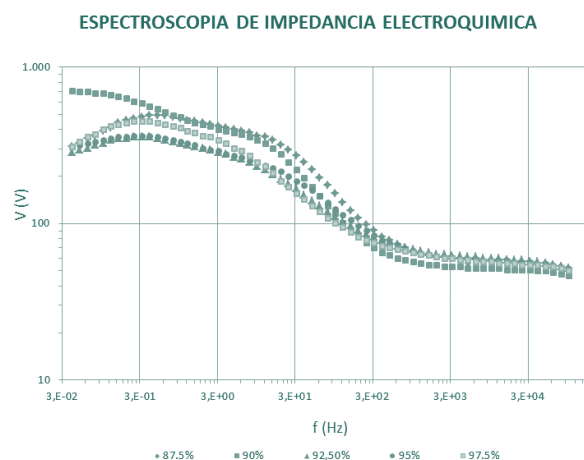


Figura 7. Diagrama de Bode.
Fuente: Los Autores.

En la imagen 1 se observa el estado superficial de cinco muestras recubiertas mediante la técnica mencionada, y permitió verificar como la región recubierta permaneció protegida ante el ataque corrosivo del medio ambiente.

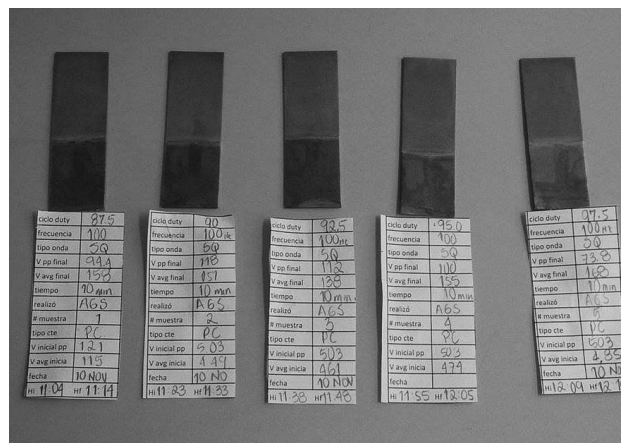


Imagen 1. Evolución natural del fenómeno de la corrosión, y el efecto protector del recubrimiento depositado.
Fuente: Los Autores.

CONCLUSIONES

- A bajas frecuencias de deposición, los recubrimientos muestran menores pendientes en la curva de polarización lineal. De esta forma los valores de velocidad de corrosión aumentan, indicando que los recubrimientos

tendrán mayor tendencia a entregar sus electrones al medio circundante de acuerdo con la reacción de oxidación.

- Un aumento en el valor de resistencia a la polarización lineal, refleja una menor velocidad de corrosión del recubrimiento. Esto concuerda con la indicación de que la técnica de deposición electrolítica mediante fuentes de corriente pulsante, favorece el refinamiento del tamaño de grano de los depósitos, el tamaño de grano del recubrimiento obtenido con una frecuencia de 100 Hz será menor que los obtenidos con otros valores de frecuencia más bajos.

- Independientemente de la técnica de deposición con corriente DC, la técnica de electrodeposición con corriente pulsada, permitió observar cambios en la velocidad de corrosión del recubrimiento depositado. El registro ordenado de estos cambios fisicoquímicos permiten ajustar nuevos depósitos a condiciones ambientales específicas de acuerdo con las aplicaciones de perfiles, paneles, elementos para la industria automotriz.

REFERENCIAS

Bajat, Jelena B.; Miskovic-Stankovic, Vesna B.; Maksimovic, Miodrag D.; Drazic, Dagutin M. And Zec, Slavica.(2004). Electrochemical deposition and characterization of Zn-Fe alloys. Belgrade : Belgrado University. *J. Serb. Chem. Soc.* 69(10)807-815(2004),UDC 546.72-034.5:621.357:620.123.

Carcel, Alfonso.(1990). *Investigación de las características de las aleaciones Zn Ni, en función de las variables electrodeposición, obtenidas en baños de cloruros con altas densidades de corriente.* Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, Tesis Doctoral.

Chandrasekar, M. S. (2008). Pulse and pulse reverse plating--Conceptual advantages and applications. *Electrochimica Acta* 53(2008): 3313-3222.

Kruger, J. (2003). *Zinc Alloys: Corrosión.* En E. S. Technology, en Encyclopedia of Materials. Baltimore, Maryland USA: Johns Hopkins University.

Lodhi, Z.F.; Mol, J.M.C; Hovestad, A.; Terry, H.; de Wit J.H.W. (2007). Electrodeposition of Zn-Co and Zn-Co-Fe alloys from acidic chloride electrolytes. *Surface and Coatings Technology* 202 (2007) 84-90, Netherlands Institute for Metals Research : Elsevier B.V.

Paunovic, Milan.(2010). *Fundamental Considerations.* En M. S. Paunovic, Modern Electroplating. John Wiley and Sons, Inc.

Praveent, B. M. and Venkatesha, T. V.(2011). *New Brightener for Zn-Fe Alloy Plating from Sulphate Bath.* Copyright@.

Ravindra Bhide. (2008). *Quantifying the effects of mass transport on surface Roughness of copper.* Utah: University of Utah.

Silveston, P.L. ; Hudgins, R. R. (2013). *Periodic Operation of Chemical Reactors.* Copyright @ Elsevier.

Propiedades mecánicas de Recubrimientos de Ti-Si-N sintetizado por pulverización catódica reactiva

Mechanical properties of Ti-Si-N thin films produced by reactive magnetron sputtering

Recibido: 23 - 02 - 2015 Aceptado: 25-05-2015

RESUMEN

Se depositaron recubrimientos de TiSiN mediante D.C Magnetron Sputtering reactivo sobre sustratos de acero inoxidable AISI 304, variando el flujo de N_2 , con el fin de estudiar su efecto en las propiedades estructurales, mecánicas y tribológicas. Los recubrimientos se depositaron utilizando un blanco de Ti-Si (90-10 %at.) con 99,999% de pureza. La caracterización estructural se realizó por medio de Difracción de Rayos X (XRD), encontrando los picos correspondientes a cristalitas de TiN. Al no encontrar evidencias de la formación de las fases Ti-Si-N, Ti-Si, Ti o Si libre, se determinó que el compuesto está formado por granos cristalinos de TiN en una matriz amorfa de SiN. Dicho resultado está apoyado en análisis realizados por FTIR y EDS. Las propiedades mecánicas fueron estudiadas por medio de nanoindentación, obteniendo valores de dureza alrededor de 23 GPa cuando se utilizan bajos flujos de N_2 .

Palabras claves: FTIR; flujo de nitrógeno; propiedades mecánicas; recubrimientos protectores de TiSiN; XRD.

ABSTRACT

TiSiN coatings were deposited by DC reactive magnetron sputtering on stainless steel AISI 304 substrates varying the N_2 flow, in order to study the effect on the structural, mechanical and tribological properties. The coatings were deposited using a 99.999 % purity Ti-Si (90-10 at.%) target. Structural characterization was performed by X-ray diffraction (XRD), observing peaks corresponding to crystalline TiN. As there is no evidence of the formation of the Ti-Si-N, Ti-Si, Ti or Si free phases, it was determined that the compound consists of TiN crystal grains in an amorphous matrix of SiN. This result is supported by FTIR and EDS analysis. The mechanical properties were studied by nanoindentation, obtaining hardness values of approximately 23 GPa when low N_2 flows were used.

Jose Luis Guerra Betancourt¹
Juan Manuel González Carmona²
Alexander Ruden Muñoz³
Carolina Ortega⁴
Federico Sequeda⁵

¹ Colombiano. Ingeniero de Materiales. Grupo de investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: guerrabetan@hotmail.com.

² Colombiano. Ph.D. Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: juanmgonzalez@gmail.com.

³ Colombiano. Ph.D. Docente, Grupo de Investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. e-mail: arudenm@gmail.com.

⁴ Colombiana. MSc en Ingeniería Química Grupo de Investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: carolinaortega35@gmail.com.

⁵ Colombiano. Ph.D. Docente, Grupo de investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones industriales (RDAI), Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: fsequeda@univalle.edu.co.

Keywords: FTIR; nitrogen flow; mechanical properties; TiSiN protective thin films; XRD.

INTRODUCCION

Los recubrimientos en forma de película delgada son muy utilizados en el desarrollo industrial en la mejora de propiedades superficiales en herramientas y piezas de maquinaria, aumentando su vida útil en servicio. Mediante este tipo de tratamiento es posible disminuir el costo de mantenimiento y reemplazo prematuro por nuevas piezas (Kauffmann *et al.*, 2005). Por medio de la deposición de recubrimientos por Magnetron Sputtering D.C y R.F, es posible mejorar el desempeño de materiales en aplicaciones de manufactura, obteniendo elevadas durezas, coeficientes de fricción estables y resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas (Tung *et al.*, 2004). En caso de recubrimientos duros, como es el caso del nitruro de titanio silicio (TiSiN), durezas iguales o mayores a 30GPa lo hacen muy útil en aplicaciones como dados y herramientas cortantes (Jiang *et al.*, 2004). Este sistema ternario posee propiedades influenciadas por la incorporación de silicio en la estructura de nitruro de titanio (TiN), añadiéndolo en un primer momento para formar óxidos estables y prevenir que el TiN convencional se vea afectado por una oxidación severa, estabilizándolo térmicamente (Tung, *et al.*, 2004). Entre las configuraciones microestructurales del sistema TiSiN se encuentra la formación de nanocristales de TiN embebidos en una matriz amorfa de Si_3N_4 (Xu *et al.*, 2007). Otro tipo de microestructuras se pueden presentar debido a la formación de una solución solida intersticial o por sustitución de átomos de titanio o nitrógeno en el cristalito de TiN. Sin embargo la solución intersticial posee una energía cohesiva mucho menor que la estructura de TiN lo que significa que no existe una solución de este tipo en condiciones de equilibrio (Liu *et al.*, 2011). El nitruro de titanio silicio es un material de carácter cerámico el cual posee excelentes propiedades como elevada dureza, alta resistencia al desgaste y corrosión a elevadas temperaturas, además de un alto punto de fusión. Este material ha sido depositado por varias técnicas entre las cuales se encuentran Magnetron Sputtering D.C y RF (Tung *et al.*, 2004; Vaz *et al.*, 2001), plasma acoplado inductivamente (ICP) con ayuda del Sistema de Pulverización Catódica Reactiva (ICP assisted hybrid PVD/CVD), la cual combina la técnica de magnetron sputtering con procesos químicos en fase gaseosa inducidos por plasma (Zhang, 2003), obteniendo muy buenos resultados como alta dureza, coeficiente de fricción estable, entre otras propiedades (Tung *et al.*, 2004). Debido a estas diferencias en composición y estructura, el comportamiento tribológico y la resistencia a la corrosión

dependerán de dichas relaciones; por otro lado, las altas prestaciones mecánicas, fragilidad y la adhesión, ubican al TiSiN como un material abrasivo, con influencia de las partículas que se puedan formar en la intercara cuando ocurre contacto tribológico, las cuales sufren procesos de endurecimiento por deformación plástica (Holmberg, y Matthews, 2009). Debido a estas dificultades, es importante estudiar estas propiedades, en términos de estandarización de los procesos de obtención y su posible aplicación. En el presente trabajo se mostrará el estudio estructural y mecánico de recubrimientos de TiSiN depositados sobre acero AISI 304 y sintetizados por la técnica de magnetron sputtering Reactivo.

METODOLOGIA

Los recubrimientos de TiSiN se depositaron a través de la técnica de PVD *magnetron sputtering* reactivo ambiente de nitrógeno y argón, variando el flujo de N_2 , utilizando un sistema reactor AJA internacional ATC 1500, sobre sustratos de acero AISI 304 y vidrio, a partir de un blanco precursor de Ti-10Si. Los sustratos se sometieron a limpieza ultrasónica en ambiente de acetona durante 15 minutos, además de limpieza superficial con un proceso de pre-sputtering en una atmósfera controlada de argón. En la Tabla 1, se muestran las condiciones de síntesis de los recubrimientos.

Se realizó la caracterización química de los recubrimientos por medio de Espectroscopia Infrarroja (FTIR), en un equipo Jasco Spectra Manager FT/IR-4100, con Interferómetro tipo Michelson de 45°, espejos tipo cubo, con mecanismo de auto-alineación; impulsión del espejo móvil mecánico con propulsión electromagnética y sistema de control digital; diámetro de apertura: de 0,5 a 7,1mm en 8 pasos; divisor de haz: sustrato de KBr revestido de germanio. Los espectros FTIR fueron registrados a temperatura de 25°C en el modo de absorbancia, en el rango de frecuencia de 400 a 4000 cm^{-1} . La estructura cristalina se estudió por medio de difracción de rayos X (XRD), en un equipo Bruker D8 ADVANCE con fuente de cobre Cu ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) bajo el método de difracción de haz rasante, ángulo de incidencia de 1°, ángulo barrido 2 θ entre 20°-80° y de 0,02° por paso. Para el estudio de las propiedades mecánicas, se utilizó un nanoindentador NANOVEA modulo IBIS - Technology, utilizando el método de Oliver y Parr (Oliver *et al.*, 2004), para ajuste de la curva carga-descarga. Se realizaron nanoindentaciones en los rangos: bajas (B), medianas (M) y altas (A) cargas (B: 0,01 – 0,4mN; M: 0,41 – 1 mN y A: 1.1 - 10 mN) obteniendo perfiles de dureza y módulo de elasticidad en función de

Tabla 1. Condiciones de síntesis de los recubrimientos de TiSiN

Presión de trabajo (Pa)	Densidad de potencia del blanco (W/cm ²)	Voltaje de polarización RF (V)	Flujo (Ar/N ₂) (s.c.c.m)	Temperatura del sustrato	Tiempo de síntesis (min)
3x10 ⁻³	5	-100	10/0,0	TA	90
			10/0,2		
			10/0,4		
			10/0,6		
			10/0,8		
			10/1,0		

TA: Temperatura Ambiente

la profundidad, determinando una carga ideal de 1mN la cual se encuentra por debajo del 10% del espesor para los recubrimientos, eliminando los efectos del sustrato de acero. Las pruebas de nanoindentación se realizaron utilizando un indentador piramidal Berkovich acoplado a la cabeza de nanoindentación "IBIS" de Fischer – Cripps Labs y un marco de control de desplazamientos con una complianza de 0,00035 um/mN, se usó IBIS SOFTWARE para control de indentación, corrección y análisis de resultados.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Análisis estructural FTIR. Por medio del análisis químico FTIR se caracterizaron los recubrimientos depositados, para determinar los compuestos presentes en las diferentes muestras a través de sus modos vibracionales (Skoog *et al.*, 2001). En la figura 1 se presentan los espectros para la muestra de vidrio y los recubrimientos depositados a flujos de N₂ de 0,2, 0,6 y 1,0 SCCM. Se utilizó vidrio como sustrato debido a que este material no presenta vibraciones que se puedan superponer con los elementos y compuestos en estudio (Skoog *et al.*, 2001). Se observa que no hay presencia de modos de vibración para los recubrimientos, indicando que el material depositado no genera absorbancia de radiación en la zona del infrarrojo medio. Al no encontrar picos relacionados a la vibración del silicio, la aleación Ti-Si o titanio libre (Mawhinney *et al.*, 1997; Llano *et al.*, 2007), muestra que estos elementos o compuestos no están presentes en el material, ya que estos si presentan absorción de radiación en el infrarrojo medio (Orduña *et al.*, 2010; Mazaj *et al.*, 2009).

Análisis estructural XRD. En la Figura 2 se muestran los patrones de difracción para los recubrimientos obtenidos. Se observan los picos característicos de la

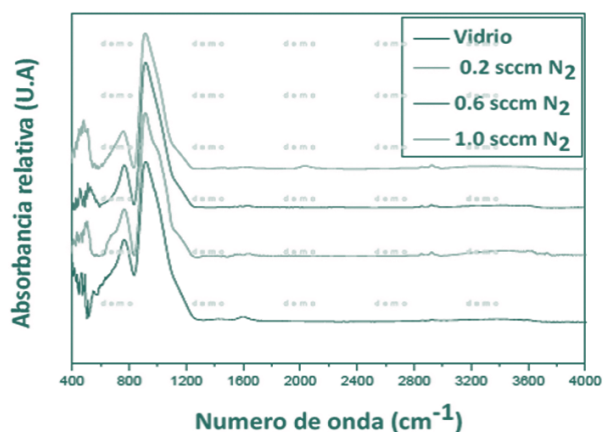


Figura 1. Espectro FTIR para los recubrimientos duros de TiSiN depositados sobre sustratos de vidrio.

fase cristalina de TiN, con estructura cubica centrada en las caras (FCC), presentando picos en las direcciones cristalográficas (111), (200), (220) y (311), con ángulos 2θ de aproximadamente 36,42°, 41,45°, 59,08° y 70,53° grados respectivamente. Este tipo de red posee el mayor factor de empaquetamiento entre todas las celdas cubicas mostrando mejores propiedades mecánicas gracias a su orientación cristalográfica (Pierson, 1996). Los patrones obtenidos tienen un desfase angular hacia la izquierda comparado con los espectros encontrados en la literatura (García-González *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007), debido a la existencia de tensiones residuales de tipo compresivo en la estructura, variando el parámetro de red (Mingolo, 2001). No se encontró evidencia de la existencia de silicio libre, compuestos de TiSi y Nitruro de silicio en la estructura.

Complementado por los análisis de FTIR y al observar el incremento en el ancho de los picos en los patrones de difracción, los resultados experimentales indican que las fase de nitruro de silicio se presentan en forma amorfa y

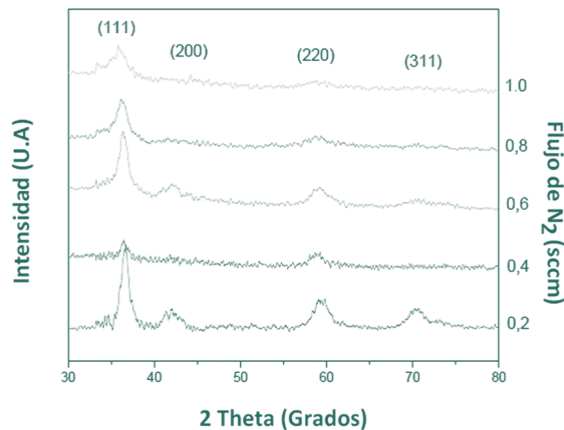


Figura 2. Patrón XRD para los recubrimientos duros de TiSiN sintetizados por Magnetron Sputtering.

se descarta la formación de silicio libre en la estructura. Este mismo aspecto puede ser verificado a través de la relación de intensidades en los patrones, donde se observa claramente una reducción con respecto al ancho de picos según se incrementa el flujo de N_2 . De manera general, se observa que al aumentar el flujo de nitrógeno existe la tendencia de una reorientación cristalográfica, debido a la segregación de la fase amorfa de Nitruro de silicio, la cual suprime el crecimiento de los cristalitas de TiN (Xu *et al.*, 2007). El patrón de difracción de la muestra depositada con flujo 0,2 SCCM de nitrógeno, muestra mayor relación de intensidades de los picos de difracción, indicando un mayor tamaño de los cristalitas de TiN. Esta distribución cristalográfica presenta una mayor orientación con relación a los demás espectros obtenidos (Pierson, 1996). Para el caso del patrón de las capas depositadas con 0,4 sccm N_2 , la intensidad de los picos (111) y (220) disminuyen y desaparecen los picos asociados con las direcciones cristalográficas (200) y (311). Esto se atribuye al fenómeno de reorientación cristalográfica preferente, debido a la segregación de la fase de amorfa de nitruro de silicio (Xu *et al.*, 2007). El patrón de los recubrimientos depositados con 0,6 sccm de nitrógeno, es similar al patrón de las capas depositadas con 0,2 sccm, indicando que una gran cantidad de nitrógeno ha reaccionado, formando nuevamente las orientaciones perdidas en el difractograma de 0,4 sccm, debido a la estabilidad del compuesto de TiN. Al aumentar el flujo de nitrógeno entre 0,8 y 1,0 sccm de N_2 , se observa una reorientación cristalográfica, con ensanchamiento gradual de los picos, indicando la formación de cristalitas de menor tamaño (Xu *et al.*, 2007; Míngolo, 2001). Trabajos anteriormente realizados muestran un comportamiento similar, indicando el efecto que produce la variación del flujo de nitrógeno en el crecimiento de recubrimientos TiSiN (García-González *et al.*, 2006). Además, se han

estudiado la amorfización que se produce en el compuesto, a causa de la segregación de la fase de nitruro de silicio en la estructura, encontrando ausencia de titanio y/o silicio libre, al igual que la aleación TiSi (García-González *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007). Para confirmar la presencia de Si, se realizaron análisis EDS en la superficie (Tabla 2), mostrando porcentajes de silicio alrededor de 8% at.

Tabla 2. Porcentaje atómico de los elementos Ti, Si y N en la superficie del recubrimiento.

Flujo de N_2 (sccm)	Ti (at%)	Si (at%)	N (at%)
0,2	43,47	7,61	48,82
0,6	38,46	8,01	53,52
1,0	36,92	8,89	54,18

El análisis EDS muestra los elementos que se encuentran en la superficie de los recubrimientos. Mediante los análisis XRD y FTIR se muestra que los recubrimientos no poseen elementos libres en su estructura, ni en forma cristalina ni amorfa, al igual que el compuesto TiSi. Esto indica que los únicos compuestos presentes en la estructura son Nitruro de titanio (cristalino), debido a la aparición de picos en los difractogramas y nitruro de silicio (amorfo).

Estudio de propiedades mecánicas. En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos de profundidad de indentación con su desviación y la resistencia a la deformación plástica y en las figuras 3 y 4 se observa la dureza y el módulo de elasticidad respectivamente para los recubrimientos de TiSiN depositados a diferentes flujos de nitrógeno. La dureza para el recubrimiento con flujo de 0,0 sccm N_2 es la más baja, debido a que en su mayoría está compuesto de material metálico (Ti) (Kim *et al.*, 2003), a diferencia de los recubrimientos con alguna cantidad de nitrógeno en su estructura, los cuales muestran una dureza superior comparada con la del recubrimiento Ti-Si (Figura 3). Se observa que el recubrimiento con flujo 0,2 sccm N_2 posee la más alta dureza comparada con los demás

Tabla 3. Medidas de las propiedades mecánicas para el TiSiN

Flujo N_2 (sccm)	H (GPa)	E (GPa)	Profundidad (nm)	Desviación de profundidad (nm)
Acero	5,640	243,480	—	—
0,0	7,181	189,647	159,535	2,290
0,2	23,360	253,648	120,067	4,003
0,4	18,199	276,717	113,011	3,199
0,6	20,302	245,701	107,087	4,483
0,8	20,444	214,215	109,110	2,671
1,0	18,12	197,683	119,868	4,971

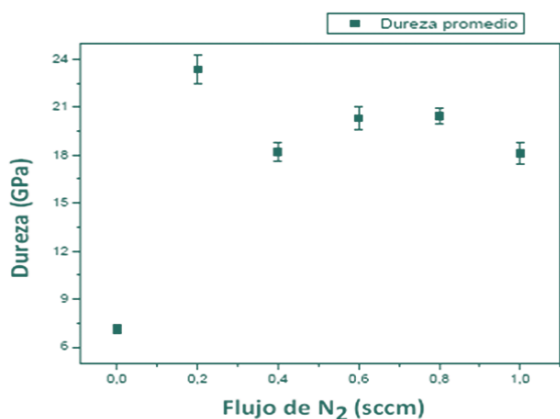


Figura 3. Dureza promedio de los recubrimientos de TiSiN depositado a los diferentes flujos de nitrógeno.

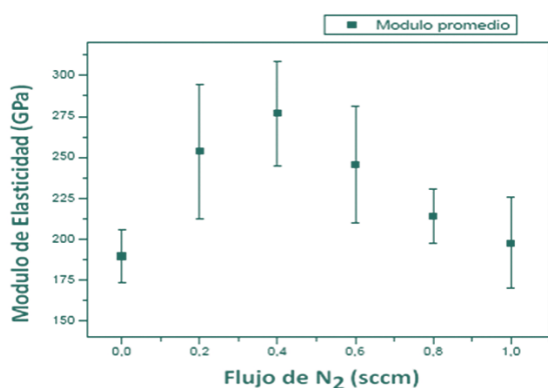


Figura 4. Módulo de elasticidad promedio de los recubrimientos de TiSiN depositado a los diferentes flujos de nitrógeno

recubrimientos, debido a que presenta la mejor relación de intensidades en los picos del patrón de difracción, lo que indica mayor coherencia cristalina, mayores tamaños de cristalito y densificación del recubrimiento (Pierson, 1996). En las muestras depositadas con mayores flujos de nitrógeno, se observa una ligera variación de la dureza promedio, entre los 18 y 20 GPa.

Este tipo de materiales, muestra elevada dureza comparada con otros recubrimientos como TiN, ya que el silicio promueve la segregación de la fase Si_3N_4 , generando un fortalecimiento comparadas con el TiN convencional (Tung *et al.*, 2004). En la Figura 4 se observa que el módulo de elasticidad promedio presenta un incremento a flujos medios de nitrógeno (de 0,2 a 0,4 sccm) y decrece a medida que se le aumenta. Los resultados obtenidos indican que el material cerámico posee una mejor recuperación elástica. Para los recubrimientos de naturaleza cerámica, el módulo presenta una ligera disminución con respecto al flujo de nitrógeno, siendo el mayor para el recubrimiento con flujo 0,4 sccm N_2 . El recubrimiento depositado con 0,0 sccm N_2 posee el menor módulo de elasticidad, debido a la influencia del material metálico de titanio en su estructura, el cual posee mayor plasticidad comparada con la de los recubrimientos cerámicos obtenidos.

En la Figura 5 se muestran las curvas de carga-descarga para el recubrimientos de TiSi depositados a 0,0 y TiSiN 0,2 sccm N_2 respectivamente. En la Figura 5a se observa que el material TiSi, influenciado por el titanio en su composición, se recupera elásticamente en menor medida cuando se realiza la descarga del indentador, comparada con los recubrimientos cerámicos. En la Figura 5b se observa que el recubrimiento cerámico posee mejor recuperación elástica, ya que muestra un mayor corrimiento hacia la izquierda de la curva en la parte de descarga del indentador (Gómez, 2005). Por medio de la relación entre la dureza y el módulo de elasticidad (H^3/E^2) se puede estimar el modo predominante de contacto inicial de los materiales (Tabla 3), estudiando el índice de plasticidad (Holmberg y Matthews, 2009). El análisis indica que los recubrimientos poseen un contacto inicial predominantemente plástico, aumentando el área real de contacto, los mayores valores los muestran los recubrimientos depositados a flujos de 0,0 y 0,4 sccm N_2 . Materiales que presentan un

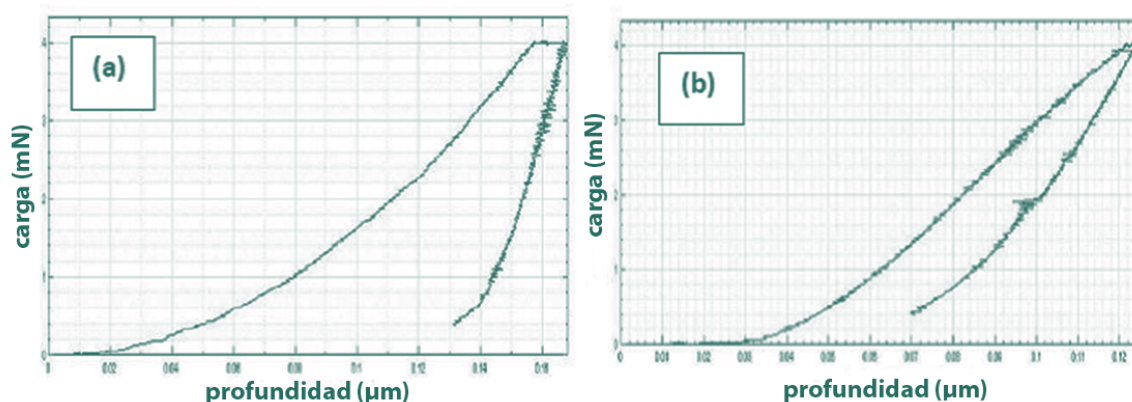


Figura 5. Curvas carga descarga para los recubrimientos de TiSiN.

comportamiento predominantemente plástico, al ser sometidos a un contacto con carga, el límite elástico es superado dejando una huella permanente en el material, la cual es similar a la formada a la máxima profundidad de indentación con carga máxima aplicada (Gómez, 2005). Debido a la influencia del comportamiento plástico de los materiales al ser indentados, la zona de descarga obtenida en las gráficas típicas de los ensayos de dureza, muestra un menor corrimiento hacia la izquierda, lo que significa una menor recuperación elástica del material (Gómez, 2005).

CONCLUSIONES

Por medio de los patrones de difracción se encontraron picos característicos de la fase cristalina de TiN, con estructura cubica centrada en las caras (FCC), descrita por las direcciones cristalográficas (111), (200), (220) y (311), los cuales presentan un desfase angular hacia la izquierda, indicando la existencia de tensiones residuales de tipo compresivo en la estructura. Mediante el análisis realizado por FTIR, no se observó la presencia de modos de vibración para los elementos libres o la aleación correspondiente al cátodo, indicando que el material presente está compuesto por la fase cristalina de TiN, en una matriz amorfa nitrato de silicio. Los recubrimientos de TiSiN poseen una dureza elevada, a bajos flujos de nitrógeno en la deposición se encontraron valores de dureza alrededor de los 23 GPa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Valle por la financiación del proyecto titulado: "Evaluación del comportamiento tribológico de recubrimientos inteligentes auto lubricantes, aplicados sobre aceros utilizados en levas de presión y sistemas hidráulicos de uso industrial", código de radicación: 2803.

REFERENCIAS

García-González, L.; Morales-Hernández, J.; Espinoza-Beltrán, F.J.; Muñoz-Saldaña, J.; Scholz, T.; Schneider, G.A. (2006). Thermal stability, structure and mechanical properties of TiSiN coatings prepared by reactive DC magnetron co-sputtering. *Materials Science Forum* 509, 93-98.

Gómez, M.A. (2005). *Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros*.

Memoria doctoral. Barcelona: Universidad de Barcelona. Departamento de física aplicada y óptica, pp. 14, 31-46, 51, 56-58, 201-204.

Holmberg, K.; Matthews, A. (2009). *Coatings Tribology: Properties, mechanisms, techniques and applications in Surface Engineering*. Elsevier pp. 47-48, 103-104, 337-339, 320-336.

Jiang, N.; Shen, Y.G.; Mai, Y.-W.; Chan, T.; Tung S.C. (2004). Nanocomposite Ti-Si-N films deposited by reactive unbalanced magnetron sputtering at room temperature. *Materials Science and Engineering B* 106, 163-171.

Kauffmann, F.; Dehm, G.; Schier, V.; Schattke, A.; Beck, T.; Lang, S.; Arzt, E. (2005). Microstructural size effects on the hardness of nanocrystalline TiN/amorphous-SiN_x coatings prepared by magnetron sputtering. *Thin Solid Films* 473: 114-122.

Kim, G.S.; Lee, S.Y.; Hahn, J.H.; Lee, B.Y.; Han, J.G.; Lee, J.H.; Lee, S.Y. (2003). Effects of the thickness of Ti buffer layer on the mechanical properties of TiN coatings. *Surface and Coatings Technology* 171, 83-90.

Liu, X.; Ren, Y.; Tan, X.; Sun, S.; Westkaemper, E. (2011). The structure of Ti-Si-N superhard nanocomposite coatings: ab initio study. *Thin Solid Films* 520, 876-880.

Llano, Bibiana; Marín, Juan Miguel; Restrepo, Gloria; Ríos Luís Alberto. (2007). Síntesis, caracterización y evaluación fotocatalítica de óxidos mixtos titanio-silicio. *Scientia et Technica* Año XIII, (36): 319-324.

Mawhinney, D.; Glass, Jr., John A.; And. Yates, John T Jr. (1997). Ftir Study of the Oxidation of Porous Silicon. *J. Phys. Chem. B* 10: 1202-1206.

Mazaj, M.; Stevens, W.; Zabukovec Logar, N.; Ristic A.; Novak Tušar, N.; Arcon, I.; Daneu, N.; Meynen, V.; Cool, P.; Vansant, E.; Kaucic, V. (2009). Synthesis and structural investigations on aluminium-free Ti-Beta/SBA-15 composite. *Microporous and Mesoporous Materials* 117, 458-465.

Míngolo, N. y Ortiz, M. (2001). *Caracterización de recubrimientos y superficies por difracción de*

- rayos X. *Procesamiento de materiales por plasma*. Curso latinoamericano 4, 251-259.
- Oliver, W.C; Pharr, G.M. (2004). Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Materials Research* 19 (1), 3-12.
- Orduña Díaz, A; Treviño Palacios, C.G; Rojas Lopez, M; Delgado Macuil, R; Gayou, V.L; Torres Jacome, A. (2010). Ftir and electrical characterization of a-Si:H layers deposited by PECVD at different boron ratios. *Materials Science and Engineering B* 174, 93-96. .
- Pierson, H.O. (1996). Handbook of refractory carbides and nitrides: Properties, characteristics, processing and applications. *Noyes publications* 193, 219-221. w
- Skoog, D.A; Holler, F.J; Nieman, T.A. (2001). *Espectrometría de absorción en el infrarrojo*. *Principios de análisis instrumental*, pp. 411.
- Tung, S.C; Yiang, N; Shen, Y.G; Li, L; Mai, Y-W; Chan, T. (2004). *Tribological characteristics of tisin films deposited by unbalanced magnetron sputtering*. Transient process in tribology Elsevier B.V, pp. 673-687.
- Vaz, F; Rebouta, L; Goudeau, Ph; Girardeau, T; Pacaud, J; Rivie`re, J.P; Traverse, A. (2001). Structural transitions in hard Si-based TiN coatings: the effect of bias voltage and temperature. *Surface and Coatings Technology* 146 -147, 274-279 .
- Xu, Y; Li, L; Cai, X; Chu, P.K. (2007). Hard nanocomposite Ti-Si-N films prepared by DC reactive magnetron sputtering using Ti-Si mosaic target. *Surface and Coatings Technology* 201, 6824-6827.
- Zhang, X. (2003). *Structure and mechanical properties of Ti-Si-N coatings*. Tesis maestria de ciencias en ingeniería mecánica. Louisiana, USA: Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. The Department of Mechanical Engineering.

Caracterización Físico-Química de Pellets producidos a partir de mezclas 50/50 Carbón Bituminoso/Madera Residual

Physico-chemical characterization of pellets produced from mixtures 50/50 bituminous coal / wood

Recibido: 19-11-2014 Aceptado: 21 -04-2015

Luis Eduardo Atuesta Boada¹
Fabio Sierra Vargas²

Resumen

Los biocombustibles, demandan procesos de caracterización y transformación confiables que aseguren su adecuado proceso de fabricación para que los usuarios finales los utilicen sin riesgo alguno. Alrededor del 4,42% de los biocombustibles que se comercializan a nivel mundial se presentan como aglomerados o pellets. Teniendo en cuenta que Colombia es un país con altas reservas de carbón y que, como país agrícola, produce grandes cantidades de residuos orgánicos, se encontró que la mezcla de estos dos productos presenta beneficios desde el punto de vista energético y de combustión, facilitando su quema y disminuyendo emisiones tanto de material particulado como de gases con contenido de azufre. Se presentan los resultados de la caracterización según normas internacionales de pellets producidos en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Colombia de mezclas 50/50 de carbón antracita y madera. La evaluación físico químicos se hizo aplicando parámetros de la norma Austriaca ONORM M7135, con el fin de evaluar cada uno de los ítems allí establecidos. Además se dan a conocer los resultados de las pruebas y los análisis de la caracterización de estas mezclas, así como su poder calorífico según norma ASTM D5865 11a y su resistencia al impacto según norma ASTM D440-86. Adicionalmente se discuten las ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental que acarrea el uso de los biocombustibles aglomerados.

Palabras Clave: pellets; biomasa; poder calorífico; Caracterización de biomasa.

¹ Colombiano. Ing. Mecánico e Industrial de la Universidad de Pamplona (Colombia). Ms (c) en Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá (Colombia). e-mail: leatuestab@unal.edu.co.

² Colombiano. PhD en Ingeniería - Energías Renovables de la Universidad de Kassel (Alemania). Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (Colombia). e-mail: fesierav@unal.edu.co.

Abstract

Biofuels demand characterization and reliable processes to ensure proper manufacturing process for end users in order to use them safely. About 4.42% of biofuels that are marketed globally are presented as agglomerates or pellets. Considering that Colombia is a country with high coal reserves and, as an agricultural country, produces large amounts of organic waste. Have been found that the mixture of these two products has benefits in terms of energy and combustion, facilitating burning and decreasing the emissions of both particulate material and sulfur-containing gases. This article presents the results of the characterization as international pellets produced in the Laboratory for Renewable Energy of the National University of Colombia for 50/50% mixture of wood and anthracite. The physicochemical parameters evaluation was made using the standard Austrian ONORM M7135, in order to evaluate each of the items established therein. Also are made known the test results and analysis of the characterization of these mixtures and their calorific value according to ASTM D5865 11a and the impact resistance according to ASTM D440-86. Additionally the advantages and disadvantages are discussed from an environmental point of view inherent in the use of biofuels agglomerates.

Keywords: pellets; biomass; calorificvalue; characterization of biomass.

Introducción

Las fuentes de biomasa del sector forestal e industria maderera en Colombia, genera 1,9 megatoneladas de residuos al año (UPME, 2003), que se pueden usar para la producción de energía al ser sometidos a un proceso de compactación (producir pellets) para aumentar su densidad energética, de esta manera su uso energético es más eficiente en procesos térmicos tales como la combustión directa o la gasificación (Carrasco, 2008). Los residuos de los bosques naturales y de los cultivados (plantaciones energéticas), son recursos renovables, que generalmente, son dejados en el área cultivada como desechos, sin tener en cuenta que en procesos modernos de conversión (gasificación, pelletizado) se puede generar energía térmica o eléctrica a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos de los bosques naturales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco

Tabla 1. Distribución Energética de un árbol.

Parte del árbol	Distribución en %
Ramas	6-22
Hojas	1-6
Tronco	74-86
Corteza	3-16
Raíces	21-33

Fuente: BUN-CA, 2002.

explotada. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor como se muestra en la Tabla 1, el otro 40% se queda en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín (BUN-CA, 2002), que convertidos en energía se producirían 268 MWh/año (UPME, 2003).

Otro de los residuos considerados son los de las grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir madera y en algunos casos energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años, el potencial energético de estos residuos es aproximadamente de 383 MWh/año (BUN-CA, 2002). Esto representa el aprovechamiento de los recursos del medio (forestal y maderero), para producir energía térmica o eléctrica. La tecnología se basa en reacciones de descomposición térmicas y de oxidación según la cantidad de oxígeno aportada en los mismos (Bilbao, 2009), estas son:

- **Combustión:** aplicación de elevadas temperaturas con relación estequiométrica completa o con exceso de oxígeno donde se libera dióxido de carbono, agua, cenizas y calor.
- **Gasificación / pirolisis:** aplicación de elevadas temperaturas (entre 500 y 800°C) (Ramírez *et al.*, 2011) con cantidades oxígeno inferiores a las necesarias para brindar una relación estequiométrica, sin permitirse una combustión completa, liberando en el proceso monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, hidrógeno y metano.

A nivel internacional el consumo de pellets en Europa se está incrementando rápidamente (Cansino *et al.*, 2012). Según se observa en la Figura 1, la proyección del consumo de pellets en Europa hasta el año 2010 se incrementó 2.5

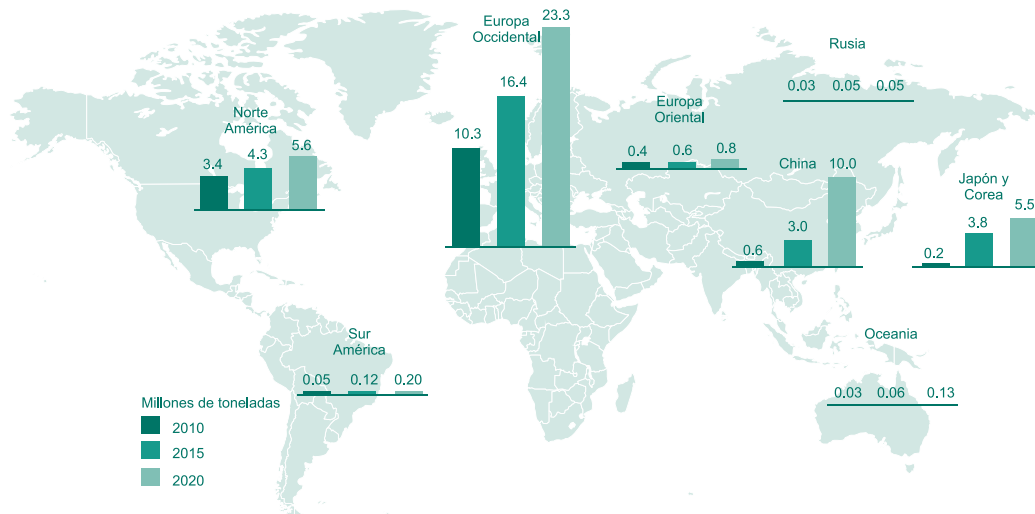


Figura 1. Proyección del consumo mundial de pellets.
Fuente: Cochi, 2011.

veces, aumentando la participación de las importaciones del 12% de la producción en el año 2006 al 34% en el 2010.

El fin de producir pellets de mezclas carbón/madera es aprovechar las propiedades energéticas del carbón y las propiedades aglomerantes de la madera, para obtener un producto comprimido (pellet) con mayor densidad energética que los pellets de 100% madera y menores emisiones contaminantes que si quemara 100% carbón.

Materiales y Métodos

Producción de pellets

En este estudio de características de la biomasa para producir combustibles sólidos específicamente pellets de mezclas con carbón mineral, se planteó la caracterización de la mezcla 50/50 carbón/madera y el estudio de las normas que regulan los parámetros de producción, caracterización y calidad.

Materiales

En la fabricación de los pellets de la muestra analizada se utilizó aserrín de madera residual de la industria maderera (carpinterías de la ciudad de Bogotá) y carbón antracita de la zona cundiboyacence de Colombia. Para tamizar el carbón y el aserrín, se usó el tamizador modelo Rx-29 de marca W.S.Tyler para tener una granulometría de carbón entre 600 y 850 μm . En la figura 2 se muestra



Figura 2. Prensa Pelletizadora
Fuente: Laboratorio de Plantas Térmicas y Energías Renovables. Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá.

la prensa pelletizadora de marca *Amertek* modelo 2003 utilizada para producir los pellets, los parámetros de operación de la máquina fueron: presión de cierre 24,6 Kg/cm^2 , tiempo de cierre 15 segundos, el molde utilizado fue de 19 mm de diámetro.

Métodos

Los métodos de producción de pellets más conocidos a presión son, en una: matriz plana, matriz anular, por tornillo de extrusión y prensa hidráulica.

En la producción de los pellets se utilizaron los siguientes materiales: una prensa hidráulica con una matriz 19 mm de diámetro, aserrín de madera tamizado y seleccionado en tamaño menor a 850 µm.

En la selección del carbón se utilizaron varios tamices y para la muestra la granulometría se tomó como punto de partida la comprendida entre 850µm y 600µm para obtener los primeros resultados y a partir de estos inferir sobre la granulometría que dé las mejores condiciones para la fabricación de pellets de mezclas carbón/madera. Determinadas las condiciones de la muestra se mezclaron en una proporción 50/50 en peso (30 gramos de aserrín y 30 gramos de carbón). Obtenida la mezcla se produjeron tres muestras de pellets para hacer las pruebas por triplicado, posteriormente se hizo el análisis correspondiente.

En la caracterización de los pellets se tomó como referencia la Norma ONORM M7135, que estableció los criterios de evaluación de calidad en cuanto a producción, transporte, almacenamiento y consumo final, es una de las más antiguas, de mayor rigor y completas en este campo.

Durante la caracterización se determinaron las propiedades físicas y químicas de los pellets (Oberberger and Thek, 2003) evaluando los siguientes ítems:

- **Dimensiones:** Se determinó la dimensión de los pellets de acuerdo a la norma ONORM M 7135 por medida de longitud y el diámetro de la muestra.

- **Densidad a granel:** El volumen y el peso de un pellet se midió para determinar la densidad a granel, de acuerdo a la norma ONORM M7135, para el peso se usó una balanza calibrada, con una precisión de 0,001 gramo; y para el volumen se usó una probeta.

- **Contenido de agua:** El contenido de agua se calculó pesando la muestra de combustible (cerca de 100g), antes y después de secarse a 105°C de acuerdo con la norma ONORM G 1074. $C.H. = ((\text{Peso Húmedo} - \text{Peso seco}) / \text{Peso Húmedo}) * 100\%$.

- **Contenido de ceniza:** El contenido de ceniza se midió por la pérdida de ignición de una muestra a 550°C de acuerdo a la norma ASTM D-5142-09.

- **Poder calorífico:** El poder calorífico de la muestra se calculó en una bomba calorimétrica de acuerdo a la norma ASTM D-5865-04, esta prueba se realizó en los laboratorios del Servicio geológico colombiano.

- **Resistencia al impacto:** Las muestras se dejaron caer 4 veces desde una altura igual a 1,85 m a una placa de metal. El peso retenido por las muestras se considera la resistencia de las muestras de acuerdo a la NORMA ASTM D440-86.

- **Resistencia al agua:** La prueba de resistencia al agua se aplicó siguiendo el procedimiento de la *American Society of Agricultural Engineers*, ASAE según lo refieren los autores (Lindley and Vossoughi, 1989), pues en el momento no existe ninguna prueba normalizada. Cada muestra se sumergió en agua a 27°C durante 30 segundos, el valor de la resistencia se tomó como el porcentaje en peso de agua absorbida por la muestra.

- **Resistencia a la compresión:** Resistencia a la compresión (resistencia al aplastamiento) es la carga máxima que un pellet puede soportar antes de agrietarse o romperse. La resistencia a la compresión de los productos densificados se determinó por la prueba de compresión diametral. Los pellets se colocaron entre dos placas planas, se aplicó un aumento de carga a una tasa constante de 5 N/seg, hasta que el pellet de prueba fallo por craqueo o rotura. La carga de rotura se lee en la curva de tensión-deformación registrada, la cual es la resistencia a la compresión y se reporta como la fuerza o el esfuerzo máximo que resiste el producto densificado, este procedimiento se realizó aplicando la norma ASTM C39-96.

- **Análisis Inmediato:** En este conjunto de ensayos se determinaron los porcentajes de Humedad, Cenizas, Materia Volátil y Carbono Fijo. (Sierra *et al.*, 2011).

- **Análisis elemental:** El análisis elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre de una muestra de materiales sólidos o líquidos. (Sierra *et al.*, 2011). La técnica se basó en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C.

Resultados y Discusión

Los pellets producidos en la experimentación se presentan en la figura 3, aunque las dimensiones están por encima de los de la norma austriaca ONORM M7135, se utilizaron para evaluar los demás parámetros de la norma.

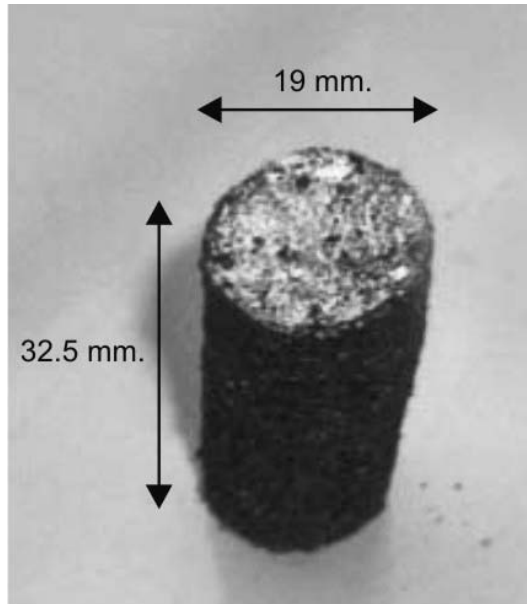


Figura 3. Pellet de mezcla carbón/madera.
Fuente: Los autores.

En la tala 2, se presentan la comparación entre los parámetros de la norma austriaca ÖNORM M7135 con los resultados de las pruebas de los pellets .

Se analizan y discuten los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas a los pellets de acuerdo a los métodos antes mencionados:

- **Dimensiones:** Comparando los resultados obtenidos con los criterios evaluados en la norma austriaca ÖNORM M7135, se nota que en cuanto a las dimensiones de los pellets no se cumple con esta norma, pues estas deberían estar entre 6 y 10 mm, pero comparando estos parámetros con la norma europea CEN/TS 14961 especificaciones y propiedades para los pellets (CEN/TS EN 14961-2, 2012), la norma sueca SS 18 71 20 especificación de tres clases de pellets en función del tamaño y de la cantidad de cenizas que generan y la norma italiana CTI R04/05 que establece los parámetros de calidad de los pellets de biomasa con fines energéticos, se afirma que los pellets objetos de esta investigación cumplen con el parámetro de dimensiones el cual debe ser menor o igual a 25 mm (Duca *et al.*, 2014), los demás parámetros de estas normas son muy similares, por esta razón se tomó como referencia la norma ÖNORM M7135 para producir y evaluar el comportamiento de los pellets.

- **Densidad a granel:** En cuanto a la densidad a granel de los pellets se cumple con lo expuesto en la norma ya que el valor obtenido fue de 933,33 Kg/m³, esto indicó que con la mezcla de madera-carbón se cumplió con los valores

Tabla 2. Comparación de parámetros de la norma austriaca ÖNORM M7135 contra resultados de las pruebas a los pellets de mezclas madera carbón.

Criterio	Unidad	Ö-Norma M7135	Resultado de las pruebas
Diámetro	mm	4-10	19
Longitud	mm	<5*d	32,5
Peso	g	-	8,6
Poder calorífico	MJ/kg	18	24,2
Resistencia a la abrasión	%	<2,3	-
Densidad	Kg/m ³	>600	933,3
Contenido de ceniza	%	<0,5	2,9
Contenido de agua	%	<10	10,28
Contenido de azufre	%	<0,04	0,4
Contenido de carbono fijo	%	-	48,12
Contenido de cloro	%	<0,02	-
Contenido de nitrógeno	%	<0,03	1,12
Contenido de Hidrógeno	%	-	5,1
Aglomerante	%	<2	0
Resistencia al impacto	%	-	38,4
Resistencia al agua	%	-	85,0
Resistencia a la compresión	N	-	4896

Fuente: Los autores.

de la norma. Una baja densidad tiene un efecto negativo sobre la densidad de energía y por lo tanto en los costos de transporte y la capacidad de almacenamiento tanto para el productor y el usuario final de pellets. Los resultados se muestran en la tabla 2.

- **Contenido de agua:** En la humedad obtenida en la prueba (10,28) se mostró ligeramente por encima del valor de expuesto en la norma (<10), esto dependió básicamente de la calidad de la madera y del carbón utilizado. El contenido de agua tuvo una influencia negativa sobre el poder calorífico neto, la eficiencia de la combustión y la temperatura de la combustión.

- **Contenido de ceniza:** El contenido de cenizas de la muestra de la mezcla fue de 2,90 en % masa, muy

por encima del valor de la normas ($<0,5$), este valor se ve incrementado por el contenido de cenizas del carbón que según estudio del carbón (Peña, 2011) son altos para los diferentes tipos de carbón mineral existentes en la naturaleza, todas las muestras analizadas presentaron contenidos de ceniza por encima del 4,5%. Debe tenerse en cuenta que entre mayor sea la cantidad de cenizas en el carbón o combustible sólido, menor será el calor obtenido, aumentándose los problemas de manejo y disposición de las grandes cantidades de cenizas producidas (Uribe, 1986).

- **Poder calorífico:** El poder calorífico obtenido de la muestra fue de 24,2 MJ/Kg, superior a valores obtenidos de muestras de maderas sin ser mezcladas con otro material. Esto es importante para el uso final de biocombustible ya que permite obtener gran cantidad de energía en pocas cantidades de combustible (densidad de energía).

- **Resistencia al impacto:** El peso medio inicial de los pellets era de 8,6 g, al cabo de la cuarta caída el peso registrado fue de 3,3 g. La pérdida de peso tras las caídas es evidente, con esto se muestra que el material no está lo suficientemente compacto para resistir las operaciones de transporte, almacenamiento y uso final sin que se desintegre o reduzca a tamaños más pequeños, el cual sería inconveniente para usos industriales por el manejo de finos o material particulado producto de la des-aglomeración de los pellets (Krugger *et al.*, 2012).

- **Resistencia al agua:** El porcentaje medio en peso de agua absorbida por las muestras fue de 15%, entonces la resistencia al agua de la muestra es de 85%, este valor está en el límite inferior admisible según (Lindley and Vossoughi, 1989) ya que al estar expuestos a la humedad estos absorberían agua de ambiente y perderían gran parte de las propiedades físicas las cuales los caracterizan. Además la humedad afecta negativamente el proceso de combustión haciéndolo más lento, pérdida de la eficiencia y causando daños prematuros en los sistemas de alimentación.

- **Resistencia a la compresión:** El ensayo de resistencia a la compresión simula el esfuerzo de compresión debido al peso de los pellets de arriba sobre los de abajo durante el almacenamiento en contenedores o silos, el aplastamiento de los pellets en un transportador de tornillo en alimentación de sistemas automáticos de calefacción o calderas. Los resultados de la prueba dieron un fuerza máxima soportada de 4896 N, un esfuerzo máximo de 14,06 N/mm² con un desplazamiento máximo de 3,62 mm.

- **Análisis Inmediato:** El contenido del carbono fijo de la muestra fue de 48,12% masa, aunque no hay parámetro

de comparación en la norma, este se obtiene de restar al total del carbono el contenido de cenizas, el material volátil y la humedad en % masa. Entre más alto sea este valor más material sólido se tendrá para ser quemado, es importante para calcular la eficiencia en equipos de combustión (Severs *et al.*, 2007).

- **Análisis elemental:** El contenido de azufre de la muestra analizada fue de 0,40% masa, este valor es bastante superior al reglamentado por la norma de combustibles aglomerados que debe ser de 0,04% en porcentaje masa, este valor es afectado por la mezcla de la madera con el carbón. Si se observa en la mezcla con el carbón disminuye el contenido total de azufre en el combustible, si se compara con el uso del carbón mineral al 100%. Esto mejora las condiciones de la combustión desde el punto de vista ambiental se reducen las emisiones de SO_x. El contenido de nitrógeno de la muestra fue de 1,12% masa, comparado con el valor de referencia de la norma austriaca ($<0,03$), es superior, esto por el alto contenido de nitrógeno del carbón. Los resultados del análisis se ven afectados por los contenidos de los mismos compuestos del carbón (Jiancheng *et al.*, 2014), pues se sabe que la madera contiene bajo contenido de contaminantes. Un alto contenido de nitrógeno es perjudicial ya que se producirían emisiones de NO_x, de gran preocupación por las medidas ambientales que se están tomando en la evaluación de nuevos combustibles.

Conclusiones

- La muestra analizada correspondió a un proporción 50/50 carbón antracita/madera, con una granulometría de carbón entre 600 y 850 μ m, haciendo referencia a que la prueba de impacto y las demás se hicieron por triplicado, los resultados muestran baja resistencia a la compresión (38,4%), esto puede asociarse al tamaño de grano del carbón.

- La mezcla de carbón/madera para la formación de un combustible aglomerado, tiene ventajas en cuanto al aumento del poder calorífico por unidad volumétrica y la densidad a granel. El hecho de usar carbones con alto contenido de azufre, cenizas y nitrógeno incrementa el valor admisible de acuerdo a la norma hecha para biomásas, sin embargo reduce el contenido de azufre, cenizas y nitrógeno respecto si se usara solo carbón. El control de estos parámetros son de gran importancia por el impacto ambiental y por el manejo de los productos de la combustión.

• De acuerdo a los parámetros evaluados en la norma se cumplieron los siguientes parámetros: longitud (32,5 mm), peso (8,6 g), poder calorífico (24,2 MJ/Kg), densidad a granel (933,3 Kg/m³) y resistencia al agua (85%), con valores medianamente superiores a la norma, esto indica que es posible la producción de pellets de mezclas carbón/madera.

El uso de mezclas de Biomásas lignocelulosicas como son los residuos de madera y carbones pobres, esto es carbones con alto contenido de azufre y cenizas, permite combinar las propiedades positivas de los dos materiales; utilizando la buena capacidad de aglomeración y bajo contenido de azufre de las biomásas y buen poder calorífico del carbón. Estas mezclas pueden potencializar el uso industrial de carbones que actualmente no se comercializan en Colombia debido a altos contenidos de azufre y cenizas.

Agradecimientos

Al Servicio Geológico Colombiano, por facilitar parte de los equipos para las pruebas realizadas en este estudio. A la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, por facilitar el uso del laboratorio de plantas térmicas y energías renovables.

Referencias

- American society for testing and materials. (1998). ASTM. C39-96: Standard test method of compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Anual book of ASTM standards.*, 04.02, 17-21.
- Bilbao Duñabeitia, R. (2009). *Aprovechamiento termoquímico de la biomasa*. Aragón, España.
- BUN-CA. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa/Biomass. Fortalecimiento de la capacidad en energía Renovable para America Central*. FOCER, Costa Rica.
- Cansino, J., Pablo-Romero, M. P., Román, R., and Yñiguez, R. (2012). Promotion of biofuel consumption in the transport sector: An EU-27 perspective. *Renewable and Sustainable Energy*, 6013–6021.
- Carrasco Garcia, J. E. (2008). *Combustión directa de la biomasa. Master en energías renovables y mercadeo energético 2007/2008*. EOI escuela de negocios. p 1-30.
- CEN/TS EN 14961-2. (2012). Solid biofuels – Fuel specification and classes - Wood pellets for non-industrial use. *The European Committee for Standardization*, CEN (TC335), 40.
- Cocchi, Maurizio. Global wood pellets industry market and trade study. IEA Bioenergy, Task 40 Sustainable Bioenergy Trade. p 1-190.
- Duca, D., Riva, G., Pedretti, E. F., and Toscano, G. (2014, Junio). Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications. *Fuel*, 135, 9-14.
- Jiancheng, Y., Rui, S., Shaozeng, S., Ningbo, Z., Ning, H., Hong, C. (2014, May). Experimental study on NOx reduction from staging combustion of high volatile pulverized coals. Part 1. Air staging. *Fuel Processing Technology*(126), 166-275.
- Krugel-Emden, H., Wirtz, S., and Scherer, V. (2012, Septiembre). An experimental investigation of mixing of wood pellets on a forward acting grate in discontinuous operation. *Powder Technology*(233), 2261-277.
- Lindley, J., and Vossoughi, M. (1989). Physical properties of biomass briquettes. *Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers*, 32(2), 361-366.
- Obernberger, I., and Thek, G. (2003, Julio). Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass and bioenergy*(27), 653-669.
- Peña Urueña, Mary Luz. (2011). *Caracterización de cenizas de algunos carbones colombianos in situ por retrodispersión gamma-gamma*. Maestría en ciencias-química. Universidad nacional de Colombia. p 1-110. Bogotá-Colombia. 2011.
- Ramírez Rubio, S., Sierra, F. E., and Guerrero, C. A. (2011). Gasificación de materiales orgánicos residuales. *Ingeniería e Investigación*, 122-132.
- Severs, W., Degler, H., and Miles, J. (2007). *La producción de energía mediante vapor, aire o gas*. (B. G. Ing. Jose, A cura di) Barcelona, España: Reverté.

- Sierra, F., Guerrero, A., Murcia, A., and Castillo, P. (2011). *Pellets de Biomasa y sus aplicaciones*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- UPME. (2003). *Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia*. Resumen ejecutivo, Unidad de planeación minero energética, Bogotá.
- Uribe B., C. A. (1986). *Introducción a la Tecnología del Carbón Origen Composición, Propiedades, Clasificación*. - Informe No 1980, Ingeominas, Bogotá.

Lightweight composites based on gypsum with reinforcement of rice husk and polystyrene

Materiales compuestos ligeros basados en yeso con refuerzo de fibra de cascarilla de arroz y poliestireno

Recibido 14-11-2014 Aceptado 24-04-2015

Juan David Pardo¹
Rafael Andrés Robayo²
Luis Anderson Trejos¹
Silvio Delvasto Arjona³

Abstract

Gypsum matrix composites were made with rice husk and polystyrene particles in order to obtain lightweight materials. The composites were mechanically characterized, and morphologically analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Gypsum and rice husk interfacial transition zone were studied by means of pull-out testing and microstructural analysis. The results showed that the polystyrene allows obtaining lightweight composites with low mechanical properties, which may be considered for non-structural applications. Rice husk fibers reinforcements significantly increased the mechanical properties of the gypsum matrix that due to the good adhesion and the amount of reinforcement used in a major way affecting the toughness.

Keywords: Polystyrene; rice husk fibers; gypsum; toughness; pull-out test.

Resumen

Se obtuvieron compuestos aligerados de matriz de yeso reforzados con cascarilla de arroz y partículas de poliestireno. Las muestras fueron caracterizadas por medio de análisis mecánico, y morfológico mediante microscopia electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de electrones dispersados (EDS). La zona interfacial entre la matriz de yeso y la fibra de cascarilla de arroz fue estudiada por medio de una prueba de arrancamiento y análisis microestructural. Los resultados obtenidos mostraron que las partículas de poliestireno permiten la obtención de materiales compuestos aligerados pero al mismo tiempo se comprometen las propiedades mecánicas de los mismos, lo que hace que el uso de estos materiales compuestos sea de tipo no estructural. Por otro lado, las fibras de cascarilla de arroz reforzaron la matriz de yeso incrementando significativamente las propiedades de flexo-tracción de la

¹ Colombiano, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. juan.pardo@correounivalle.edu.co

² Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

³ Colombiano, Profesor Titular, MSc., PhD. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

matriz de yeso y la tenacidad de los compuestos al mismo tiempo que disminuyeron la densidad de los mismos.

Palabras clave: Poliestireno; fibras de cascarilla de arroz; yeso; tenacidad; prueba de arrancamiento.

INTRODUCTION

One of the building materials that has been used since ancient times in large quantities is the gypsum material. Archeologists dated the oldest applications of gypsum plaster or gypsum binder to 7000 years B.C. The modern building industry can not only utilize natural gypsum, as commonly done in the past, but also forms of gypsum that appear as waste, secondary-raw material from various sources, such as phospho-gypsum red gypsum, and flue-gas desulfurization gypsum between others (Vimmrova *et al.*, 2011). In many studies the reinforcement of the gypsum matrix for a highly number of applications has been investigated mainly to obtain lightweight materials with insulation properties (Vimmrova *et al.*, 2011; Borreguero *et al.*, 2014; Tonoli *et al.*, 2009; Robayo *et al.*, 2013), likewise it is known that the increase in porosity due to the inclusion of reinforcements decreases the thermal conductivity of the composite (Onésippe *et al.*, 2009). In addition, properties like low density, rapid hardening, insulating behavior and good workability make “gypsums” potentially meaningful in the “must be” permanent crusade for the search of alternative construction materials free of grey cement contributing in the economics and the reduction of CO₂ liberation in the pursuit of sustainability (Magallanes-Rivera *et al.*, 2012). In this work the possibility of using two types of reinforcements is studied, expanded polystyrene and rice husks for gypsum matrix composites, being the aim to obtain lightweight materials. It was analyzed both the density obtained, as well the mechanical properties for the composites and reinforcements, including the morphological characteristics for the Interfacial transition zone (ITZ) which plays an important role in the final properties of the composites.

EXPERIMENTAL

Materials

The plaster used was commercial gypsum, developed primarily for making stucco. The rice husk (RH) used was provided by a regional rice mill. The RH samples were subjected to a selection and cleaning process. The characteristics of polystyrene used were given by the supplier while the dimensions of rice husk fibers were

measured by SEM figure such has been done in other works in the ‘Grupo Materiales Compuestos’ (Pardo and Salinas, 2013). The spherical particles of polystyrene with a diameter range between 3.3 mm and 4.8 mm are commercial selling. The density and size of these compounds are seen in table 1.

Table 1. Characteristics of materials.

Raw Material	Density Mg/ m ³	Dimensions
Polystyrene particles	0.02	Average Diameter: 4.05 mm
Rice husk fibers	0.65	Average Transversal Area: 0.20 mm ² Average Length: 9.7 mm
Gypsum	2.33	Average size: 22 µm

Methods

The fiber tension test was carried out following ASTM D3822-07, at the ends of the fibers were adhered pieces of paper to be subjected to the jaws (figure 1, **right**), thus the transversal area and the fiber perimeter were obtained by SEM. The statistical treatment of the data for the tensile strength of the rice husk fiber has appeared in many other work in the ‘Grupo de Materiales Compuestos’ (Pardo and Salinas, 2013); (Cocuy *et al.*, 2014), in this work being the objective the lightening of gypsum matrix, that part is skipped. Polypropylene molds were used for the pull-out measurements, which have a cubic shape with a cross sectional area of 12 mm x 12 mm, the fiber was immersed in the center of the sample, and in its other edge, a piece of paper was bonded to be clamped with the universal testing machine (figure 1, **left**).

Gypsum matrix composites reinforced with 40% (v/v) of polystyrene (PE) and composites reinforced with 26% (v/v) of rice husk (RC) were performed by thermal curing at 40 °C for one hour and post-cured at room temperature for 7 days according to other studies (Yu *et al.*, 2012; Chinta *et al.*, 2013; Gencel, *et al.*, 2014). The proportion was calculated with a mixtures rule in order to obtain a density lower than 1, however a limiting factor was the workability of the mixture that produced restriction in the addition’s selection, thus finally the proportion was mainly obtained from the literature’s results (Vimmrova, *et al.*, (2011); Aghazadeh *et al.*, (2011); Borreguero *et al.*, (2014); Madariaga and Lloveras, (2008); Sabrine *et al.*, (2013)). Physical and mechanical properties such as density (displaced volume technique), flexural strength (ASTM C293) and compressive

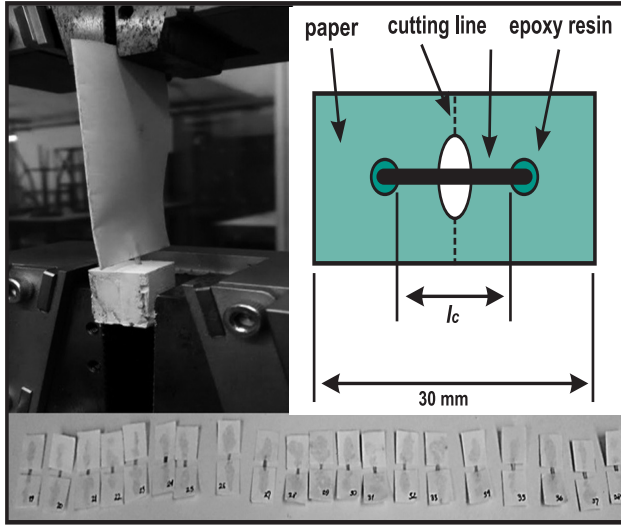


Fig.ura 1. Testing set- up: (Left) pull-out. (right) tension test, (down) Fiber Tension Test Samples.

strength (ASTM C 472) were measured. The morphology and composition of the transition zone were analyzed by SEM and EDS techniques. The bond stress was determined using the detachment method or pull- out of the fiber in tension (Valadez, 1999), according to equation 1.

$$\tau = \frac{F_f}{l_e P_e} \quad (1)$$

Where F_f is the maximum pullout load, L_e represents the embedded length and the P_e the fiber perimeter. The expression of Kelly and Tyson is an alternative way to calculate the bond stress (Valadez, 1999) in equation 2.

$$\tau = \left(\frac{\sigma_f}{2} \right) \left(\frac{d_f}{l_c} \right) \quad (2)$$

The critical length l_c for a fiber can be calculated as in equation 3.

$$l_c = \left(\frac{\sigma_f d_f}{2\tau} \right) \quad (3)$$

Where:

σ_f : Maximum Tensile strength of the fiber

d_f : Diameter of the fiber

τ : Bond stress

The flexural strength was performed using the universal testing machine Instron 3369 model equipped with 1 KN load cell. Three-point bending configuration was employed to evaluate the modulus of rupture (MOR), following the expression 4.

$$MOR = \frac{3 \times L \times a}{2 \times b \times t^2} \quad (4)$$

Where L is the Load at failure, a is the beam span between supports, b width of beam and t is the depth of beam. The toughness was obtained by integration of the area below the load vs. deflection curve at four points, to the maximum resistance at first crack, σ_i and at $3\sigma_i$, $5.5\sigma_i$ and $10.5\sigma_i$ values. The toughness index of the specimens (I_1 , I_2 , I_3), could be obtained using the equations 5, 6 and 7.

$$I_1 = \frac{Area (P - 3\delta_f)}{Area (P_f - \delta_f)} \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{Area (P - 5.5\delta_f)}{Area (P_f - \delta_f)} \quad (6)$$

$$I_3 = \frac{Area (P - 10.5 \delta_f)}{Area (P_f - \delta_f)} \quad (7)$$

RESULTS AND DISCUSSION

The two types of reinforcement induce effects of lightening on the composite material, being more marked the results obtained for expanded polystyrene. In the table 2 can be appreciated the results for density. The reinforcement of polystyrene produced a decrease in density with respect to the pattern near the 28.6%, giving an important lightness, even having the ability to float on water; these results confirm that is possible decreasing mass by unit surface with the adhesion of polystyrene particles, similar results obtained by Madariaga and Lloveras, (2008).

Polystyrene spherical particles in the composite induce a high degree of porosity, functioning as a pore agent, due to the high air contents. In the tables 3 and 4 are shown the results from compression and flexural analysis, where can be noted low mechanical properties for composites with polystyrene compared to the pattern samples, thus their applications may be limited to non-structural elements.

Table 2. Density results after 7 days of curing.

Gypsum			PE			RH		
Mass (g)	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	Mass (g)	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	Mass (g)	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)
22.36	16.00	1.40	18.18	18.00	1.01	26.75	20.00	1.34

Table 3. Compressive strength Test results.

Mixture	Compressive Strength (MPa)	Specific Compressive Strength (MPa/Mg/m ³)
Gypsum	2.42	1.73
PE	1.47	1.45
RH	2.19	1.63

Table 4. Flexural Strength after 7 days of curing.

Mixture	Max. Load (N)	MOR (MPa)
Gypsum	31.67	2.19
PE	28.39	1.96
RH	53.51	3.70

On the other hand, the reinforcement with rice husk produced a significant increase in MOR, although has similar density with respect to the pattern samples. In the fig 2a can be observed the load vs. deflection curve for the all types of studied composites. A significant effect on the toughness of the composite reinforced with rice husk was observed, as is seen in the fig 2b. The table 5 shows the results for the toughness and flexural toughness index,

these values clearly reflect the effect of the added fibers on the post-cracking behavior, which it means an efficient response of the fibers on the crack arresting which increases with the grade of the applied load that is transmitted from matrix to the fiber. In table 5 is shown an increase in toughness to first crack (σ_f) with rice husk reinforcement of 2.67 times the pattern toughness.

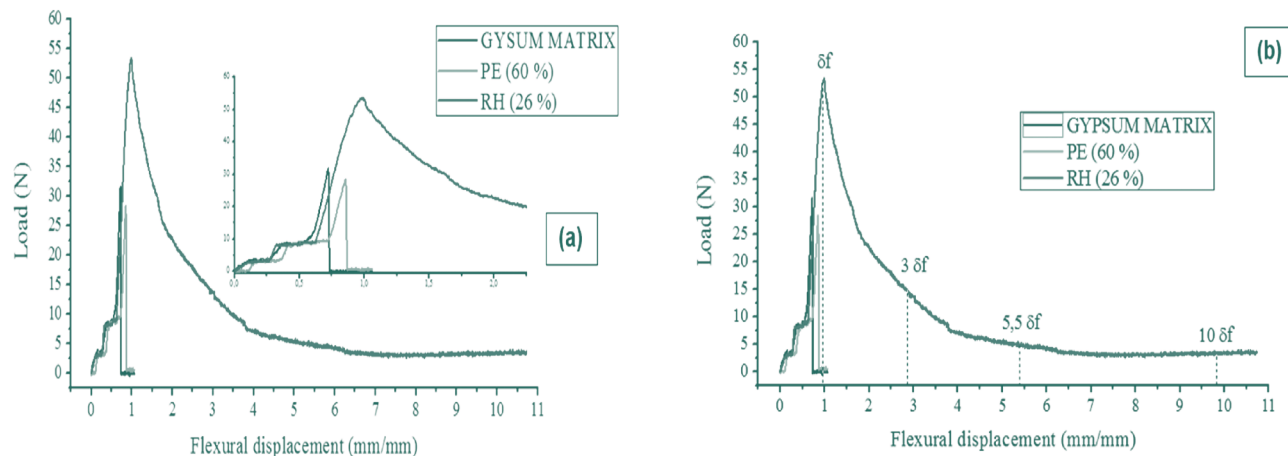


Fig. 2. Results from flexural strength analysis: (a) load vs. deflection curve (b) flexural toughness index.

The flexion results in reinforcement with rice husk, suggest besides good adhesion of the fiber to the gypsum matrix also an homogeneous distribution due to the pre-mixed in dry, in contrast to the results obtained by Hamza

et al., (2013), who obtained a decline in the mechanical properties of the samples reinforced with natural fibers, that is associated with the generation of porosity in addition to the inhomogeneous distribution of the fibers in the matrix.

Table 5. Toughness and flexural toughness index after 7 days of curing.

Mixture	Load f (N)	δ_f (mm)	Toughness (N.mm)			Toughness Index		
			δ_f	$3 \delta_f$	$5,5 \delta_f$	$10,5 \delta_f$	I_1	I_3
Gypsum	31.66	0.73	5.88	-	-	-	-	-
PE	28.39	0.86	6.21	-	-	-	-	-
RH	53.51	0.98	15.70	67.82	86.62	101.79	4.32	5.52

The results of the pull-out test (figure 3 and table 6) and the obtained values for MOR suggest a significant adherence of the rice husk fiber on the gypsum matrix, related to the hydrophilic characteristic of the fiber and good wetting of the matrix. Also the morphological characteristics of rice husk with high roughness allows a significant contribution of mechanical anchoring (Pardo y Salinas, 2013).

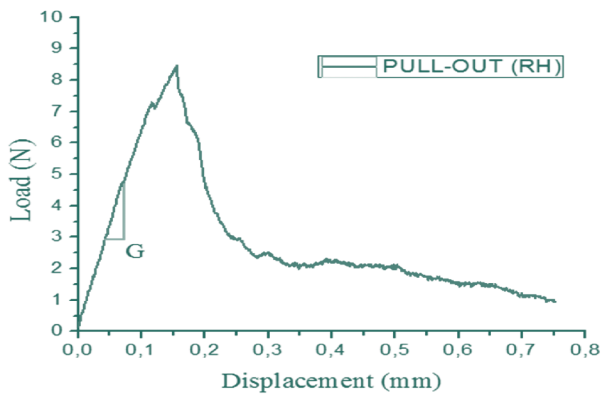


Fig. 3. Pull-out curve.

Table 6. Test results Pull Out.

Fiber	Embedded area (mm ²)	Extraction load (N)	T (MPa)
RH	24.74	8.47	0.34

Using the equation (3) with the values obtained for the adherence tension is calculated the critical length for the rice husk fibers in a gypsum matrix, the results are showed in the table 7, can be observed that the average critical length value is superior to the fiber length, indicating that pull out phenomena is more prone to occur. The increase in toughness is due to the dispersed energy for the fibers in the displacement process where the pull-out is dominant on the interface zone due the length of the fiber (Singh *et al.*, 1994; Savastano *et al.*, 2003) that reported from figure 3, a module G of 62.58 N/mm.

Table 7. Test Critical Length

Fiber	Fiber tensile resistance (MPa)	Fiber Length (mm)	Fiber Transversal Area (mm ²)	Average Critical Fiber Length (mm)
RH	54.53	11.98	0.21	41.46

The morphologies of the interface for the expanded polystyrene as well as for rice husk are seen in the SEM micrographs presented in figure 4. It can be seen an interface with high porosity due to the wall effect in the transition zone, the polystyrene (fig 4c, 4d) presents a very poor adherence, which explain the results of the mechanical tests for the two cases (Martias *et al.*, 2013). The observed morphology suggests a high fragility of the transition zone, similar to the findings of other authors (Tonoli *et al.*, 2009; Pardo and Salinas, 2013).

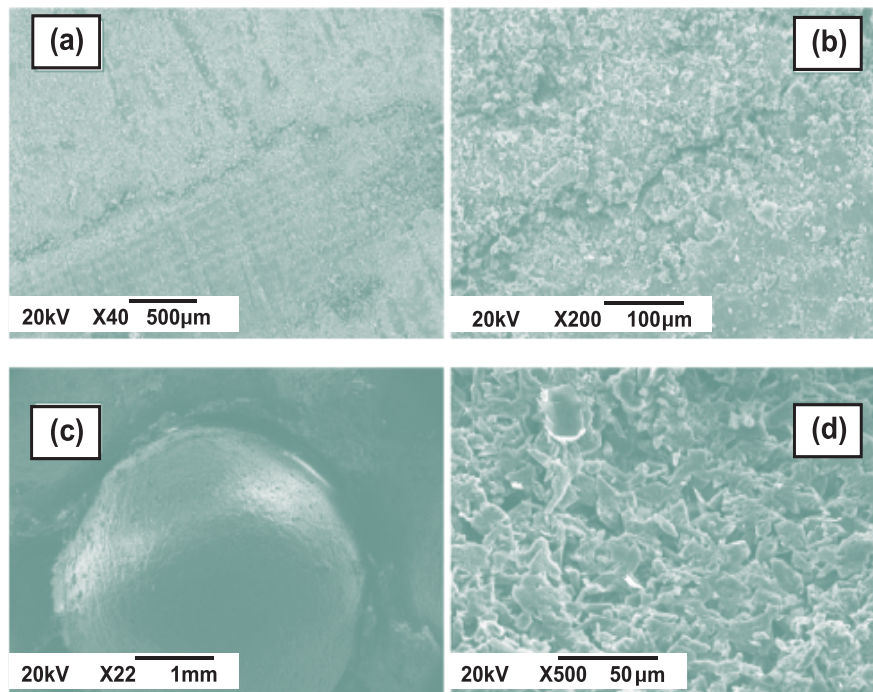


Fig. 4. SEM of ITZ for rice husk: (a), (b) and ITZ for the PE (c), (d).

CONCLUSIONS

Based on the experimental results is concluded:

- The reinforcement with polystyrene particles produces a significant lightening effect in the matrix of gypsum; however there is a decrease in the mechanical properties due not only to the induced porosity also to the poor adhesion of the polystyrene in the gypsum matrix.

- The reinforcement with rice husk fibers improves the mechanical strength and the toughness, the test results of pull-out and the length critical showed that during fissuration the main cause of the increase of the absorbed energy is the detachment phenomenon and pull out of the fibers.

- It is possible to obtain lightweight gypsum base composites with improved mechanical properties and resistance to cracking by their reinforcement with rice husk fibers.

REFERENCES

- Aghazadeh, J., Sangghaleh, A., Pourjavad, N. (2011). Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites. *Computational Materials Science*.50 (5):1619–1624.
- Borreguero, A. M., Garrido, I., Valverde, J., Rodríguez, J.F., Carmona M. (2014). Development of smart gypsum composites by incorporating thermoregulating microcapsules, *Energy and Buildings*. 76: 631–639.
- Chinta, , Katkar, P., Mahamed, M. (2013) Natural fibres reinforced gypsum composites. *International Journal of EGINEERING and Management Sciences*. 4: 318-325.
- Cocuy C., Pardo, J., Salinas, E., Delvasto, S. (2014). "Improvement of characteristics of the surface of the rice husk for use in composites based on portland cement" *FZEA/USP*, 15th NOCMAT, Pirassununga, São Paulo, Brazil.
- Gencel, O., Diaz, J., Sutcu, M., Koksall, F., Rabanal, A., Martinez-Barrera, G., Brostow, W. (2014). Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. *Energy and Buildings* 70: 135–144.
- Madariaga, G., Lloveras J. (2008). Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. *Informes de la Construcción* 60: 35-43.
- Magallanes-Rivera, R.X., Juarez-Alvarado, C.A., Valdez, P., Mendoza-Rangel, J.M. (2012), "Modified gypsum compounds: An ecological–economical choice to improve traditional plasters. *Construction and Building Materials*. Volume 37: 591–596.
- Martias, C., Joliff, Y., Nait-Ali, B., Rogez, J., Favotto, C., (2013). A new composite based on gypsum matrix and mineral additives: Hydration process of the matrix and thermal properties at room temperatura , *Thermochimica Acta* 567:15–26.
- Hamza, S., Saada, H., Charrier, B., Ayed, N., Charrier-El Bouhtoury, F. (2013). Physico-chemical characterization of Tunisian plant fibers and its utilization as reinforcement for plaster based composites. *Industrial Crops and Products*. 49: 357– 365.
- Onésippe, C., Passe-Coutrin, N., Toro, F., Delvasto, S., Bilba, K., Arsène. M. (2009). Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations'. *Composites: Part A*. 41: 549–556.
- Pardo J., Salinas E. (2013). *Desarrollo de una superficie óptima en la cascarilla de arroz para su aplicación como fibra en una pasta de cemento Portland*. Tesis de Grado, Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle.
- Robayo R., Matthey, P., Delvasto, S., (2013). Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero. *Revista de la Construcción*. 12.
- Savastano, H., Warden, P., Coutts, R., (2003). Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. *Cem Concr Composites*. 25: 311–320.
- Singh, M., Garg M. (1994). Gypsum-based fibre-reinforced composites: an alternative to timber, *Construction and Building Materials*.8(3):155–160.

- Tonoli, G.H.D., Rodrigues, U.P., Savastano, H., Bras, J., Belgacem, M.N., Rocco Lahr, F.N. (2009). Cellulose modified fibres in cement based composites. *Composites: Part A* 40: 2046–2053.
- Valadez G., (1999) *Efecto del tratamiento superficial de fibras de henequén sobre la resistencia interfacial fibra- matriz y en las propiedades efectivas de materiales compuestos termoplásticos*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Vimmrova, A., Keppert, M., Svoboda, L., Cerny, R., (2011). Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality. *Cement and Concrete Composites*. 33: 84–89.
- Yu, Q., Brouwers H. (2012). Development of a self-compacting gypsum-based lightweight composite. *Cement and Concrete Composites*. 34(9): 1033–1043.

Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus-DP, basado en microcontrolador¹

Implementation of a passive device for a Profibus-DP net-work, based on microcontroller

Recibido: 02-02-2015 Aceptado: 04 -05-2015

Asfur Barandica López²
Carlos Julio Ramírez Borrero³
Melani Gisella Viveros Moreno⁴

Resumen

Se presenta el desarrollo de una estación pasiva para entradas y salidas de propósito general, con capacidad de comunicación mediante el protocolo Profibus-DP. La implementación se basa en un microcontrolador STM32, respetando las especificaciones de las capas física y de enlace de datos definidas para el protocolo. Se describe la arquitectura hardware y software de la estación pasiva, así como las pruebas a las que fue sometida para verificar su funcionamiento. Tales pruebas involucran equipos industriales de reconocidos fabricantes, para demostrar la capacidad de interoperabilidad del dispositivo.

Palabras clave: esclavo Profibus-DP; buses de dispositivos; redes para automatización; comunicaciones industriales.

Abstract

This paper presents the development of a passive station with communication capability through the Profibus-DP protocol, for general purpose inputs and outputs. The implementation is based on an STM32 microcontroller, and it is fully compatible with the specifications of the physical and data link layers defined for the protocol. A detailed hardware and software architecture of the passive station, as well as the tests performed to verify its operation, are also described in this paper. These tests involve equipment from known industrial manufacturers to demonstrate the interoperability capability of the device.

Keywords: Profibus-DP slave; device level networks; automation networks; industrial communications.

¹ Desarrollado por el Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes de la Universidad del Valle (Cali-Colombia), que viene haciendo desarrollos con el protocolo Profibus desde 2009.

² Colombiano. Msc. Ingeniería con énfasis en electrónica, profesor Universidad del Valle Cali, Colombia. Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes. e-mail: asfur.barandica@correounivalle.edu.co.

³ Colombiano. Ingeniero Electrónico - Postobón S.A. carlosjulior@gmail.com.

⁴ Colombiana. Ingeniera Electrónica - ZTE Colombia S.A.S. melani.viveros@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

Profibus es, sin lugar a dudas, el protocolo de comunicación para equipos industriales con mayor número de nodos instalados a nivel mundial (Spiegel, 2008; Control Engineering, 2007; Lydon, 2008; Carlsson, 2015). En la región Andina son muchas las instalaciones automatizadas con esta red y las que se prevé serán instaladas en el futuro cercano. Un estudio realizado en 2008 encontró que Profibus compite con DeviceNet por el mercado de los buses de dispositivos en la industria del Valle del Cauca, pero que sus bondades son poco conocidas y explotadas (Barandica, 2008), lo cual genera la necesidad de capacitar personal en el diseño, operación y mantenimiento de redes de comunicación industrial.

Es claro que cuanto más profundos sean los conocimientos alrededor del protocolo, mayor será el retorno que se obtiene en la explotación de la red industrial y menores los tiempos de parada debidos a fallos y operaciones de expansión y mantenimiento. Por ello, al interior del grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes se definieron proyectos tendientes a formar ingenieros y a desarrollar equipos que aporten a la competitividad industrial mediante el uso adecuado de estas tecnologías. La capacidad de diseño de equipos con el protocolo Profibus implica el dominio de conocimientos profundos y permite ofrecer soluciones no convencionales, con buena relación costo/beneficio, a los usuarios de las redes Profibus.

La mayoría de las publicaciones relacionadas con Profibus en Colombia y los países vecinos se limitan a describir la interconexión de equipos de fabricantes extranjeros usando el protocolo (Córdoba y Sandoval, 2007; Otáñez, 2009; Echeverri y Grisales, 2013). Se han reportado implementaciones propias, como es el caso de (Calderón, 2004), donde además de esclavos, se desarrolló un software que hace las veces de maestro de la red; sin embargo, no hay un procedimiento confiable de validación, dado que todos los componentes del sistema son elaborados por el autor; en (Cardona y Castañeda, 2010) se construyó un esclavo Profibus y se validó convenientemente, aunque el desarrollo se apoyó en dos Circuitos Integrados de Aplicación Específica (ASIC) (UFC100-F1, AMIS-492x0) que reducen al mínimo el trabajo sobre la pila de comunicaciones de Profibus. Publicaciones recientes de países desarrollados indican que el tema abordado tiene relevancia y potencial comercial (Xu *et al*, 2011; Yanjun *et al*, 2007).

En este artículo se presenta la implementación de un dispositivo pasivo (esclavo) para una red Profibus-DP, la cual, a diferencia de las mencionadas anteriormente, se llevó a cabo sin utilizar circuitos integrados específicos para el protocolo, por lo que fue necesario desarrollar todo la pila de comunicaciones sobre una plataforma de procesamiento digital basada en el microcontrolador STM32. Se presenta también el procedimiento de validación que fue ejecutado para dar confiabilidad a los resultados.

El artículo se organizó de la siguiente manera: en la metodología se describieron muy brevemente las características del protocolo y las especificaciones mínimas de cada tipo de dispositivo con capacidad Profibus, seguido por el diseño del esclavo y su definición, la selección del hardware y la arquitectura del software; las pruebas a las que fue sometido el prototipo; se consignan los resultados, las conclusiones y las perspectivas del trabajo.

METODOLOGÍA

Inicialmente se abordó el estudio del protocolo Profibus-DP y se definieron las especificaciones del esclavo, para poder así establecer las características mínimas de la plataforma de procesamiento digital y del hardware del esclavo en general. Se llevó a cabo la implementación del esclavo y su conexión con un simulador de maestro para dar inicio a las pruebas básicas de comunicación. Se creó el archivo GSD usando el programa *GSD Editor5* desarrollado por Profibus *Nutzerorganisation* e.V. Para ello se tomó como ejemplo el archivo GSD del variador de velocidad Micromaster440. Los archivos GSD proporcionan una descripción clara y comprensiva de los dispositivos, especificando las características de comunicación en un formato definido. Finalmente se agregó el esclavo a una red Profibus para realizar las pruebas definitivas de comunicación.

A continuación se hace una breve descripción del protocolo, antes de mostrar el diseño.

Profibus-DP (Decentralized Peripherals)

Profibus-DP es un protocolo de comunicación entre equipos industriales que permite altas tasas de transferencia de datos de forma confiable. En una red

Profibus-DP se diferencian dos tipos de equipos: los maestros o estaciones activas y los esclavos o estaciones pasivas. Los maestros envían los datos de salida al esclavo y obtienen una respuesta que incluye sus datos de entrada.

Existen dos tipos de estaciones activas en el protocolo DP:

- **Maestro DP clase 1:** se trata generalmente de los equipos que realizan el control central mediante el intercambio de información con los equipos distribuidos o esclavos.

- **Maestro DP clase 2:** son los dispositivos usados para programación, configuración o diagnóstico. Son parametrizados en la puesta en marcha con el fin de especificar la configuración del sistema DP. Esta configuración suministra información como el número de dispositivos DP, direcciones de las estaciones del bus y de los dispositivos de entrada y salida.

Los dispositivos pasivos o esclavos son periféricos que generalmente realizan funciones de I/O, recogiendo el estado de los sensores y entregando valores a los actuadores del proceso.

La pila de comunicaciones del protocolo se organiza según el modelo de referencia OSI para interconexión de sistemas abiertos. Profibus define únicamente las capas física y de enlace de datos. La capa física basada en par trenzado de cobre, hace uso de la interfaz estandarizada RS-485, la cual permite usar velocidades de transferencia de hasta 10 Mbps y hasta 32 estaciones en un segmento; la transmisión es asíncrona con 8 bits de datos y paridad par. Alternativamente, el protocolo también acepta el uso de fibra óptica.

La capa de enlace de datos se encarga de hacer que el enlace sea fiable y proporciona los medios para activar, mantener y desactivar el enlace. La capa de enlace de datos también se encarga de la detección y control de errores. Los formatos de trama de Profibus se resumen en la tabla 1. Una estación pasiva sólo debería estar en capacidad de interpretar tres de estos formatos (2, 3 y 5), pues los otros dos se usan para comunicación entre estaciones activas. Las transacciones de transferencia de datos incluyen la emisión de una trama de solicitud del maestro al esclavo, en la que se envían los datos de salida, y de una trama de respuesta del esclavo al maestro, en la cual se insertan los datos de entrada. Una descripción más completa del protocolo puede encontrarse en (Acromag, 2002).

Tabla 1. Tipos de tramas Profibus

Campos usados de la trama													
Tipo de trama	SD	LE	LEr	SD	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	DU	FCS	ED	
1. Búsqueda de nuevos maestros	10H				x	x	x				x	16H	
2. Transferencia de datos	68H	x	x	68H	x	x	x	x	x	X	x	16H	
3. Transferencia de datos	A2H				x	x	x			8x	x	16H	
4. Paso de testigo entre maestros	DCH				x	x						16H	
5. Reconocimiento corto	E5H												
SD: delimitador de inicio de trama					DSAP: punto de acceso al servicio en el destino								
LE: byte de longitud (DA+SA+FC+DSAP+SSAP+DU)					SSAP: punto de acceso al servicio en la fuente								
LEr: byte de longitud repetido (el mismo contenido de LE)					DU: unidad de datos. 8 bytes con SD=A2H y entre 1 y 244 bytes con SD=68H								
DA: dirección del nodo destino					FCS: byte de control de errores								
SA: dirección del nodo fuente					ED: delimitador de fin de trama								
FC: byte de control de trama o código de función													
Los campos en blanco no son usados. Así, la trama tipo 1 tiene siempre 6 bytes y la trama tipo 5, 1 byte. X indica que este campo contiene un número variable de bytes (1 a 244). 8x indica que este campo contiene 8 bytes.													

La primera versión de Profibus se denominó DP-V0. En ella se definieron las especificaciones DP originales que permiten transferencia de datos cíclica entre maestro y esclavo, la parametrización y la lectura de datos de diagnóstico para una rápida localización de fallos. La versión DP-V1, que surgió como una extensión de DP-V0, agrega la comunicación acíclica de datos maestro/esclavo, lo que constituye un buen complemento para la modificación de parámetros, ya que permite transmisión en forma paralela de información del proceso (transmitida cíclicamente) y de los parámetros de configuración, transmitida acíclicamente y con menor prioridad; también añade el reconocimiento de alarmas. La versión DP-V2 adiciona a las versiones anteriores el intercambio de información esclavo/esclavo, permitiendo alcanzar altas velocidades en la sincronización de dispositivos sobre la marcha y sincronización de reloj.

Especificaciones del esclavo y requerimientos del hardware

Se especificó un esclavo con capacidad de manipulación de cuatro entradas y cuatro salidas digitales de propósito general. Con un *watchdog* para garantizar la robustez del diseño ante el ruido y las variables ambientales, y dotado de una interfaz serial asíncrona destinada a la comunicación en la red Profibus. Siendo el primer desarrollo sobre este protocolo, se optó por una velocidad objetivo relativamente baja de 57,6 kbps.

Para una red que funcione a velocidades de hasta 57,6 kbps, se determinó que un microcontrolador de 8 bits con desempeño de 1 MIPS podría atender sin retardos las solicitudes del maestro. De igual manera, se consideró apropiado un tamaño de 32 kbytes de memoria para el almacenamiento del programa y una memoria RAM interna de al menos 2 kbytes para el manejo de las variables temporales generadas durante la ejecución del programa. Es indispensable la presencia de una memoria no volátil de al menos 256 bytes para el almacenamiento de los parámetros de configuración del nodo.

En vista de que ningún microcontrolador incluye el driver/receiver para el manejo de la interfaz RS-485, es imprescindible su colocación externa; además, siempre se recomienda el aislamiento eléctrico de las señales del bus RS-485, con el propósito de proteger el nodo ante posibles fallos en la red y viceversa. Cumpliendo las especificaciones de capa física de Profibus, se debe usar un conector DB9 hembra en el esclavo, para colocar las señales del bus RS-485 en el medio de transmisión.

Arquitectura hardware del esclavo

Como soporte hardware de la unidad pasiva se seleccionó la placa de desarrollo *ET-STM32 Stamp* que cuenta con un procesador ARM de 32 bits Cortex™-M3, CPU de 72 MHz de frecuencia máxima, el cual ofrece un rendimiento excepcional de cómputo (90 MIPS) y un avanzado sistema de respuesta a las interrupciones, memorias integradas de alta velocidad, memoria flash para programa de 512 Kbytes, SRAM de hasta 64 Kbytes y un conjunto interesante de unidades periféricas (ADC de 12 bits, temporizadores de 16 bits, subsistemas PWM, interfaces de comunicación I2C, SPI, I2S, SDIO, USB, CAN y USART). Dado que la tarjeta no dispone de EEPROM, se hizo una emulación de EEPROM usando la memoria Flash, como se describe en (ST Microelectronics, 2009).

En la figura 1 se muestra el diagrama en bloques del esclavo Profibus. La interfaz con la red Profibus se compone de dos etapas: aislamiento eléctrico y acople con el medio. El aislamiento se realizó con optoacopladores MCT6 para las señales de recepción (Rx), transmisión (Tx) y habilitación de transmisión de datos (DE). Estos dispositivos limitan la rata de bits a un máximo de 150 kbps, aunque existen otras referencias (6N137, VO2601) con las que se pueden lograr hasta 10 Mbps. La etapa de acople con el medio convierte las señales referidas a tierra del microcontrolador, a señales diferenciales y adecúa los niveles de tensión e impedancias, a las definidas por la especificación RS-485; para este propósito se seleccionó el driver/receiver MAX485. Como parte de esta etapa también se añadió el conector DB9 hembra para la conexión al medio.

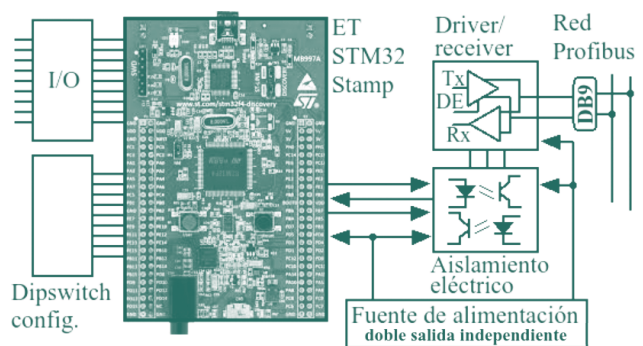


Figura 1. Diagrama de bloques del hardware del esclavo.

Se colocó un conjunto de conmutadores tipo *dipswitch* para definir manualmente la dirección del esclavo y un led para confirmar al usuario que los procesos de parametrización y configuración se realizaron exitosamente; el led parpadea a diferentes velocidades según sea el estado en el que se encuentra, hasta quedar completamente encendido al alcanzar el estado *intercambio de datos*.

Arquitectura software

La implementación de la capa de enlace de datos se realizó a través de la programación del microcontrolador de la placa de desarrollo STM32F103. El programa se escribió en lenguaje C y se compiló en el ambiente de desarrollo *Keil uVision4*, que genera un archivo con extensión *.hex*. El microcontrolador posee un *bootloader* de fábrica, que permite que la descarga del archivo *.hex* a la plataforma se realice a través del puerto RS-232 del computador mediante el software *Flash Loader Demonstrator*.

En su vista más general, el programa desarrollado implementa la máquina de estados que rige el comportamiento del esclavo Profibus, la cual es presentada en la figura 2 (a).

Al encenderse, después de un reset o tras la activación del temporizador *watchdog*, el esclavo estará en el estado *Power_ON/Reset*, durante el cual hace la inicialización de los recursos hardware y los parámetros en memoria que definen el comportamiento del nodo. Si la dirección de esclavo es válida (cualquier valor entre 0 y 125), la máquina de estados pasará automáticamente al estado *Parametrización*; si la dirección no es válida, esperará por un mensaje de asignación de dirección. En el estado *Parametrización*, el esclavo espera el telegrama del maestro, el cual identifica la estación que le ha sido asignada como maestro y el modo de operación. Una vez se reciben los parámetros, el esclavo pasa al estado *Configuración_I/O*, en el cual el esclavo espera un telegrama que especifica el número de bytes de entrada y salida que deberán ser intercambiados en cada transacción posterior. En los estados *Parametrización* y *Configuración_I/O* serían inicializados los diferentes periféricos del microcontrolador para atender las demandas en cuanto a la funcionalidad del esclavo. Realizada la configuración, el esclavo queda en el estado *Intercambio_datos*, en el que se pueden intercambiar datos de I/O, solicitar diagnósticos o modificar los parámetros y la configuración del esclavo.

Por ningún motivo el esclavo toma la iniciativa para enviar un mensaje; debe esperar siempre un mensaje de

solicitud por parte de un maestro. El programa entonces permanece capturando y analizando las tramas que circulan por la red y ejecutando las acciones pertinentes, de acuerdo con el estado actual. La atención a los telegramas del maestro se efectúa siguiendo el diagrama de flujo de la figura 2 (b).

El bloque *Recepción_de_trama* captura los caracteres recibidos por la Interfaz para Comunicaciones Síncronas y Asíncronas (USART) siguiendo la máquina de estados de la figura 2 (c), que es controlada principalmente por la Interrupción por Recepción (RI) y el dato recibido en el Buffer de Recepción de la USART (SBUF). Se usa un contador para capturar el número de bytes esperado según el tipo de trama. Se generan errores si el delimitador de fin de trama no está en la posición esperada o si el byte de repetición de longitud no coincide con la longitud anunciada. Terminado el proceso de recepción de una trama, el bloque *Trama_válida?* hace la validación de la secuencia de verificación (FCS en la tabla 1) y determina si la trama va dirigida al esclavo, en cuyo caso el bloque *Análisis_de_trama* hace un análisis de los campos restantes: SA, FC, DSAP, SSAP y DU.

Después de analizar la trama recibida, el bloque *Generación_respuesta* se encarga de construir la trama de respuesta y enviarla al maestro. Para ello, los diferentes campos de la trama de respuesta son almacenados en una variable tipo Array para luego ser transmitidos por la USART. El mecanismo de Acceso Directo a Memoria (DMA) controla por completo la transmisión directa de los datos del arreglo hacia el registro de datos de la USART, hasta que el contador del DMA llega a cero; con ello se libera a la CPU de la gestión de interrupciones de transmisión cada que se envía un byte de la trama; de hecho, antes de entregar el control de la transmisión al DMA, las interrupciones la USART deben ser deshabilitadas (Hitex, 2009).

Finalizada la transmisión de una trama, el driver de transmisión debe deshabilitarse para permitir el uso del canal de comunicación por parte de las demás estaciones de la red y deben habilitarse las interrupciones en recepción generadas por la USART.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas del esclavo se centraron en tres aspectos: capacidad para operar en el bus sin generar interferencias sobre otros dispositivos, conformidad con la

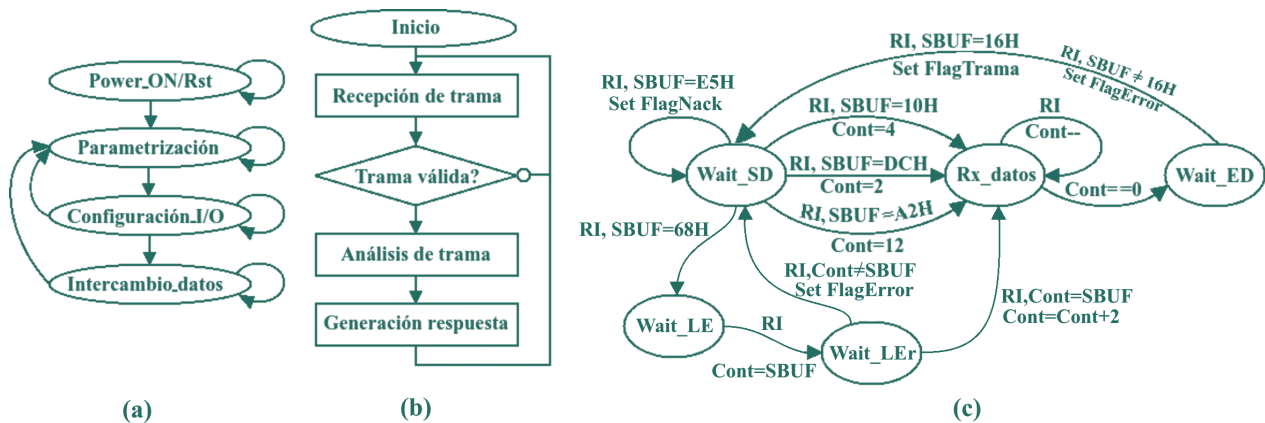


Figura 2. Diagramas de estados y de bloques del programa.

especificación del protocolo y determinación de la velocidad máxima de operación.

En sus primeras fases de desarrollo, el esclavo fue probado enviando tramas Profibus desde un computador portátil dotado de un convertidor USB/RS-485 (USOPT4-LS de B y B Electronics), que simulaba el accionar de un maestro; se utilizó un programa para manipulación de puertos seriales (*232Analyzer*) que permite componer manualmente las tramas a ser enviadas y recibir las respuestas. En una fase posterior, se insertó el dispositivo en una red conformada por equipos industriales y software de reconocidos fabricantes; se configuró la red Profibus a 9600 bps con dos variadores de velocidad Micromaster 440 de Siemens y una tarjeta CP-5611, instalada en un slot PCI del PC que hace las veces de maestro de la red. El esquema completo se muestra en la figura 3.

Con la aplicación *Step7* se realizó la configuración de la red (asignación de direcciones, velocidad de comunicación, definición del servidor OPC). Antes de agregar a la red el dispositivo esclavo basado en STM32, se cargó su archivo GSD con el fin de que el *Step7* lo reconociera e instalara fácilmente. Una vez configurada la red, se realizaron pruebas básicas de conectividad con los variadores, teniendo en cuenta que los Micromaster 440 usan el perfil Profidrive. El programa *232Analyzer* se usó en este caso a manera de *sniffer* de la red, para capturar el tráfico y comprobar las secuencias de tramas requeridas para la inicialización de los dispositivos por parte del maestro. Pudo verificarse que la operación de los variadores de velocidad no fue afectada por la presencia del esclavo diseñado, pues desde el computador se intercambiaron datos con los variadores, por medio del software *OPC Scout* de Siemens.

Asimismo, la conformidad con la especificación del protocolo se da por satisfecha, teniendo en cuenta que el esclavo superó los estados iniciales hasta quedar en modo de intercambio de datos. Aunque el servidor *OPC Scout* permitió la visualización de todas las tramas, entregó únicamente la información del campo DU de las tramas que lo incluyen; por ello, el *sniffer* fue de gran utilidad, pues captura las tramas completas con cualquiera de los delimitadores, permitiendo verificar que no se presentaron reconocimientos negativos o intentos fallidos de comunicación por parte del maestro.

En la fase de operación o intercambio de datos, fue posible leer el estado de un conjunto de entradas digitales y alterar el estado de un conjunto de salidas digitales. De igual manera, se realizaron operaciones de cambio de dirección. Estos intercambios se llevaron a cabo mientras los demás equipos de la red estaban intercambiando datos activamente, lo cual asegura la interoperabilidad del esclavo desarrollado. La figura 4 muestra la red completa implementada en *Step7* y los mensajes de comunicación exitosa del *OPC Scout*.

Finalmente se incrementó la velocidad de la red a 19,2 kbps sin que se produjeran cambios en su funcionamiento.

CONCLUSIONES

Se realizó la implementación de una estación pasiva para una red Profibus-DP usando una plataforma microcontrolada STM32. Ello implica que la pila de comunicaciones tuvo que ser desarrollada completamente, a diferencia de las implementaciones que emplean circuitos ASIC. También fue necesario el desarrollo de un

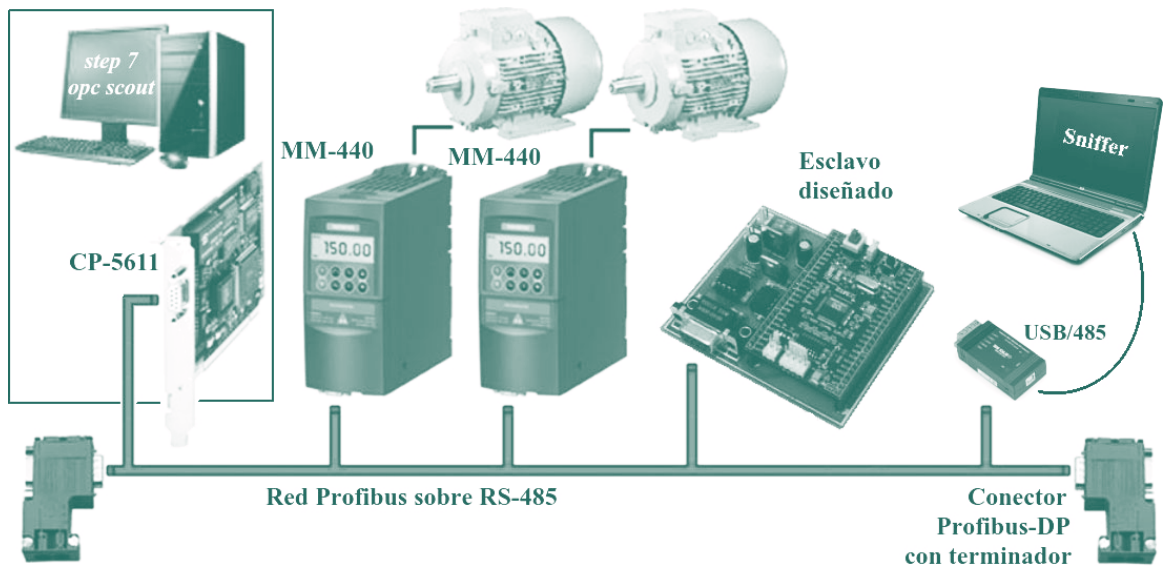


Figura 3. Esquemas de la red para las pruebas del esclavo.

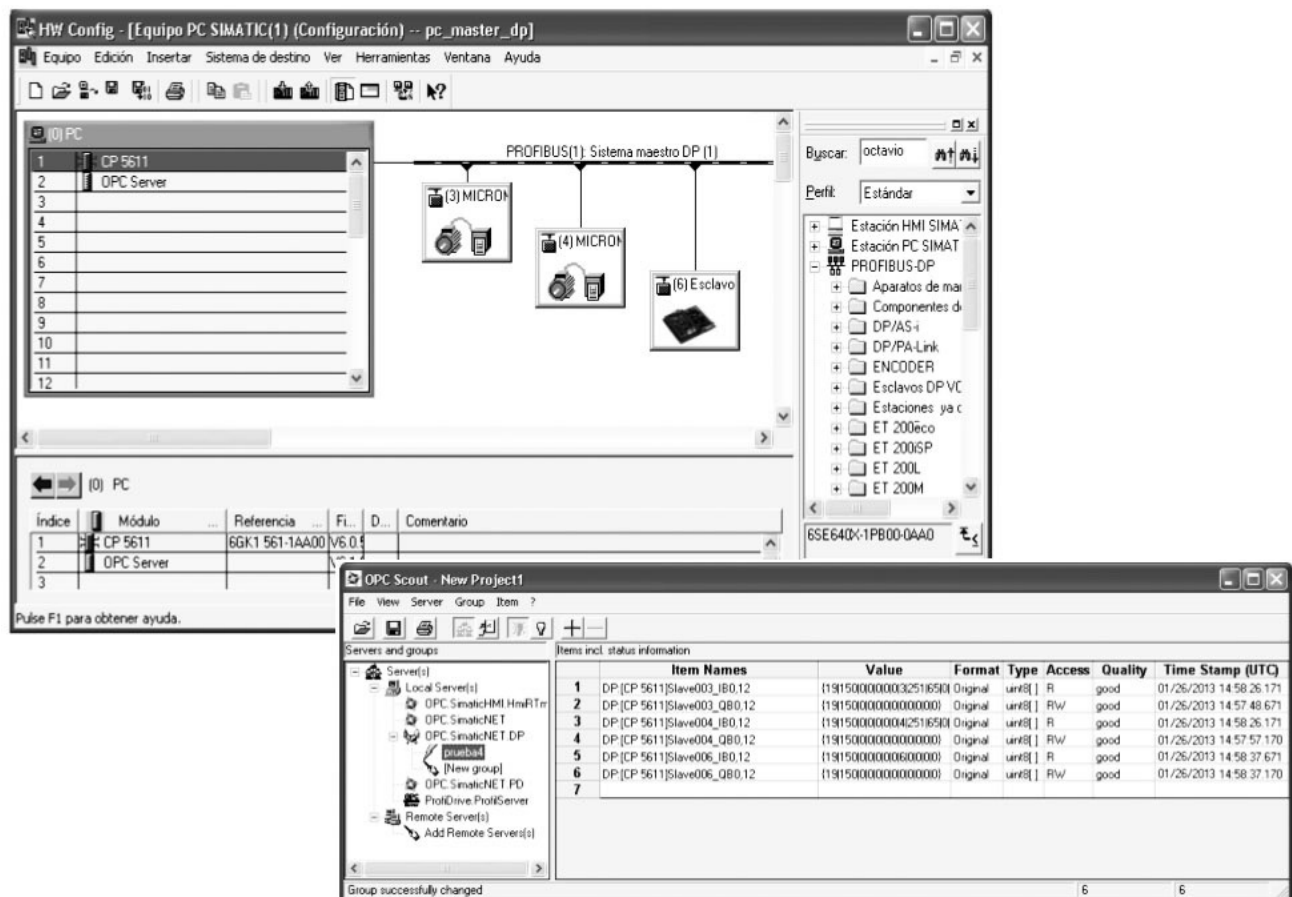


Figura 4. Captura de pantalla mostrando la red y mensajes intercambiados exitosamente.

archivo tipo hoja de datos electrónica (archivo GSD), como condición imprescindible para que el maestro realizara la parametrización y configuración del esclavo. El esclavo fue insertado en una red conformada por equipos industriales, demostrando su capacidad de intercambiar datos con el maestro sin interferir en las comunicaciones con los demás dispositivos de la red. En la red estaban presentes dos esclavos, un maestro y un equipo de diagnóstico (*snnifer*). Las pruebas fueron realizadas sucesivamente a 9600 y 19200 bps, sin que aparecieran problemas debidos al incremento en la velocidad.

El esclavo permitió el cambio de dirección, la parametrización, la configuración de I/O y el intercambio de datos usando las tramas y las funciones definidas por la especificación del protocolo.

Más que el diseño de un producto, este proyecto muestra la capacidad de ofrecer a la industria nacional soluciones que pueden mejorar los procesos productivos con costos inferiores a los que tendrían las opciones importadas que ofrece el mercado. Con él se ha demostrado la capacidad de diseño de la ingeniería colombiana y se han generado documentos y herramientas útiles para realizar nuevas implementaciones y capacitar personal en el área de las comunicaciones industriales, particularmente en el protocolo Profibus-DP. Se pretende que en una versión posterior, el esclavo incluya las capacidades *Freeze* y *Sync*, pueda intercambiar datos de variables analógicas y opere exitosamente hasta 500 kbps.

REFERENCIAS

- Acromag Incorporated (2002). *Introduction to Profibus DP. BusWorks™ 900PB Series ProfiBus/RS485 Network I/O Modules Technical Reference, USA*. Recuperado de: http://www.acromag.com/sites/default/files/Acromag_Intro_ProfibusDP_698A.pdf.
- Barandica A. (2008). *Una propuesta para la apropiación de la tecnología HART y su transferencia hacia el sector industrial*, (tesis de maestría) Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Calderón Porras E. (2004). Implementación del protocolo Profibus de redes de comunicación industriales para la automatización de sistemas de manufactura, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(4), 17-24.
- Cardona C.M. y Castañeda A.M. (2010). *Convertidor 4-20mA a Profibus PA*, (tesis de <http://www.automationworld.com/networking-amp-connectivity/pto-step-profinet-promotion>).
- Carlsson T. (2015). *HMS' view of the different networks on the market in 2015*. January 22. Recuperado de: <http://www.anybus.com/readnews.asp?NID=177>.
- Castañeda Verano, A.M. y Cardona Barón, C.M. *Convertidor 4-mA a Profibus PA*, (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/7002/1/tesis451.pdf>.
- Control Engineering (2007). *Digital network: With 20 million nodes, Profibus is now mainstream technology*, Control Engineering, Agosto 14. Recuperado de: [http://www.controleng.com/index.php?id=2805&tx_ttnews\[tt_cHash\]=95bae4cd19569a06ea7e406e4cc9aa36](http://www.controleng.com/index.php?id=2805&tx_ttnews[tt_cHash]=95bae4cd19569a06ea7e406e4cc9aa36).
- Córdoba J.E. y Sandoval A.M. (2007). *Implementación de un sistema supervisorio sobre una red industrial Profibus-Ethernet en un caso de estudio*, (tesis de pregrado) Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- Echeverri S.M. y Grisales G.A. (2013). *Implementación de una red Profibus-DP en un sistema automatizado*, (tesis de pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/4353/1/6298E18.pdf>.
- Hitex (UK) Ltd. (2009). *The insider's guide to the STM32 ARM based microcontrollers*. Coventry, Reino Unido. Recuperado de: <http://www.hitex.com/fileadmin/pdf/insiders-guides/stm32/isg-stm32-v18d-scr.pdf>.
- Lydon B. (2008). PROFIBUS Hits New Highs... over 25 million installed nodes!. *Rev. Automation*. Recuperado de: <http://www.automation.com/library/articles-white-papers/articles-by-bill-lydon/pto-2008-annual-meeting>.

- Otáñez J.P. (2009). *Modernización de dos sierras de corte para el proceso de elaboración de tablas en la planta industrial Aglomerados Cotopaxi S.A.*, (tesis de pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1437/1/CD-2135.pdf>.
- Spiegel R. (Septiembre 2008). PTO to step up Profinet promotion, *Rev. Automation World*. Recuperado de: <http://www.automationworld.com/networking-amp-connectivity/pto-step-profinet-promotion>.
- ST Microelectronics (2009). *Application note AN2594: EEPROM emulation in STM32F10x microcontrollers*. Recuperado de: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00165693.pdf.
- Xu Hongyan, Wu Guichu, Chen Chong. (2011). *Based on STM32F103 Implement Profibus-DP Slave with High-speed Transmission*, International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering, Bali, August 4-7, Vol. 1, 232-234. Recuperado de: <http://www.ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6007805>.
- Yanjun Fang, Jingyu Liu, Bo Xi. (2007). *Development of Multifunctional Controller Based on PROFIBUS-DP*, IEEE International Conference on Automation and Logistics, August 18 - 21, Jinan, C h i n a , 144-148. Recuperado de: <http://www.ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4338546>.

Estudio prospectivo de la industria del plástico y el caucho asociada al sector cuero, calzado y marroquinería empleando metodología Delphi y análisis estructural¹

Prospective study on rubber and plastic sector related with leather and footwear industry using Delphi method and structural analysis

Recibido: 02-03-2015 Aceptado: 27-04-2015

Sandra Milena Velásquez Restrepo²

Gabriel Jaime Peláez Arroyave³

Diego Hernán Giraldo Vásquez⁴

Juan Camilo Ortiz Serna⁵

Resumen

En las últimas décadas ha aumentado significativamente el uso del plástico y el caucho en el sector cuero, calzado y marroquinería, estableciéndose una relación de interdependencia entre ambas actividades económicas. Este trabajo presenta un estudio prospectivo para la industria del plástico y el caucho que provee al sector cuero, calzado y marroquinería, dado que este tipo de estudios han sido reconocidos como referentes válidos para que empresas, gremios, centros de investigación y entes gubernamentales diseñen sus planes de acción. Los expertos consultados representan a entidades nacionales e internacionales, se aplicó la metodología Delphi y análisis estructural para identificar los principales factores que serán claves para el éxito del sector plástico y caucho relacionado con la industria del cuero, calzado y marroquinería. En total se identificaron veintiséis factores claves de éxito, agrupados en siete estrategias transversales; destacándose la calificación del personal, el desarrollo tecnológico en lo relacionado con materiales y procesos de manufactura y la modernización organizacional, como las tres estrategias transversales con mayor impacto en el futuro de la industria del plástico y el caucho. Durante el proceso de obtención y análisis de la información se encontraron aspectos que se deben tener en cuenta en este tipo de estudios, resaltando además que los factores más citados por los expertos no coinciden con los identificados en el análisis prospectivo como claves para el éxito del sector.

Palabras clave: Industria del caucho; industria del plástico; cuero; calzado; marroquinería; prospectiva; metodología Delphi; análisis estructural.

¹ Informe final de estudio ejecutado y financiado por el Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA, Itagüí-Colombia, entre febrero y diciembre de 2014.

² Colombiana, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

³ Colombiano, Magíster en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Ingeniero de Materiales. Instructor / Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

⁴ Colombiano, Magíster en Ingeniería, Ingeniero Mecánico. Profesor del programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Grupo de Materiales Poliméricos.

⁵ Colombiano, Aprendiz de la Tecnología en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

Abstract

In recent decades the use of plastics and rubbers in the leather goods and footwear industry has showed a remarkable increase, establishing a strong dependence between these economic activities. This work presents a prospective study for the plastics and rubber industry as provider for the leather goods and footwear industry, since such studies have been recognized as valid tools for organizations to design their action plans, regardless if planning is carried out by companies, associations, research centers or government agencies. Professionals from different types of institutions, both national and international, were consulted by applying the Delphi methodology. Structural analysis was carried out to identify the main factors that will be key to the success of the plastics and rubbers industry related to leather goods and footwear industry. Twenty six key success factors grouped into seven types of strategies were identified, finding that training of personnel, technological development in materials and manufacturing processes and organizational modernization are the three strategies with the greater impact in the future of plastics and rubber industry. During the collecting and analyzing information several methodological aspects to be taken into account in this type of studies were found. Key factors identified in this study did not agree with factors that were the more cited by the experts.

Keywords: Rubber industry; plastic; leather goods; footwear industry; prospective; Delphi methodology; structural analysis.

Introducción

La industria del calzado y la marroquinería ha incrementado el consumo de plástico y caucho, tanto por su menor costo en comparación con el cuero o la madera, como por el esfuerzo de la industria del plástico y el caucho por desarrollar materiales que satisfagan los estándares de calidad exigidos por el sector calzado y marroquinería (Saraswathy *et al.*, 2013). El caucho es el material más ampliamente usado para fabricar las suelas, bien con caucho natural o hule (Lopes *et al.*, 2015) o con caucho sintéticos como el SBR -copolímero de butadieno y estireno- y el EVA -copolímero de etileno vinil acetato - por su alta resistencia a agentes externos y la buena relación costo-beneficio (Beliczky y Fajen, 2001), sin dejar de lado el confort que proporcionan las suelas en caucho (Silva *et al.*, 2009). También se investigó sobre

el uso del caucho para la fabricación de capelladas (Duerto, 2014), aprovechando las propiedades que presentan los caucos de aislamiento térmico, baja densidad y resistencia a agentes químicos, características especialmente importantes para el calzado de seguridad industrial (Beliczky y Fajen, 2001). El plástico ha ganado un lugar importante en componentes de calzado femenino, como los tacones y las sandalias; el llamado cuero sintético, basado en plásticos como el poliuretano o el policloruro de vinilo -PVC- viene aumentando su aplicación tanto en el sector calzado como en la marroquinería (Calva, 2012). En la industria se observó el interés por producir plásticos para calzado y marroquinería usando tecnologías limpias, disminuir el uso de aditivos químicos nocivos para el medio ambiente, (Naime y Robinson, 2009; Serrano *et al.*, 2007), e incrementar el uso de materiales reciclados (Alcántara *et al.*, 2008), buscando además reducir los costos de producción.

Colombia no es ajena a las tendencias mundiales en cuanto al incremento en el uso de plástico y caucho en el sector cuero y calzado. Es pertinente indicar que tras la crisis de la industria nacional del calzado, el cuero y la marroquinería entre 2009 y 2013, principalmente debido a la incursión del calzado asiático con precios difíciles de igualar a nivel local, el sector comenzó a vislumbrar una recuperación que puede tardar de 3 a 5 años (Celedón, 2014; Urueña, 2014). Esta cadena productiva cuenta con importantes oportunidades de aumentar la cantidad y el valor agregado de sus exportaciones, especialmente al mercado de Estados Unidos, aspecto en el cual comparte oportunidades con la industria del calzado y la marroquinería además de ser industrias conexas. En este panorama, la implementación de una planeación estratégica basada en la innovación será clave para aumentar la competitividad del sector (Quero, 2008), y es por ello que es la cadena productiva elegida para este estudio.

De acuerdo con Porter, la competitividad está determinada por cuatro atributos fundamentales, y la manera cómo interactúan permiten identificar el carácter innovador de una organización. Los cuatro atributos son: condiciones de la demanda, industrias conexas y de apoyo, la estrategia, estructura y rivalidad de las empresas de la misma actividad económica, y en lo que tiene que ver directamente con la temática de este trabajo, los factores de éxito para el sector (Porter y Kramer, 2002). Dichos factores clave pueden ser identificados usando estudios de prospectiva, para que sean considerados en la planeación estratégica de la organización.

Dentro de las herramientas de apoyo a la prospectiva, se encuentra la metodología Delphi que considera los posibles escenarios relevantes para el sector de interés (Santos *et al.*, 2013), sin olvidar la atención a los factores socio-económicos que interactúan con las capacidades técnicas emergentes que afectan productos y servicios comerciales (Porter, 2010). La metodología Delphi se basa en un proceso de construcción con expertos en el tema y actores que hacen parte o tienen interés en la cadena productiva que se estudia, limitando el efecto de juicios subjetivos, los conceptos de los expertos se conservan al anonimato, lo cual permite a los participantes expresarse libremente exponiendo entonces su real opinión (Landeta, 1999; Velásquez y Castro, 2013). Este procedimiento consigue consenso pero sin afectar la autonomía de cada participante, por lo cual la capacidad de predicción de la metodología Delphi se basa en la utilización sistemática del juicio intuitivo emitido por el grupo de expertos (Landeta, 1999). Se analizaron las respuestas de los expertos para identificar los factores que ellos consideraron determinantes, y se efectuó un análisis estructural a través del cual se realizó una valoración cuantitativa y objetiva de los factores propuestos por los expertos. El análisis estructural consistió en identificar si un factor incide sobre otros factores, lo cual se denominó motricidad, o si por el contrario es influenciado por otros factores, característica llamada dependencia. Con los valores encontrados se elaboró el plano de motricidad y dependencia, en el cual se ubicaron los factores más influyentes, es decir, las fuerzas motrices del cambio, así como aquellos que sólo son dependientes de otros por lo tanto no son prioritarios para cambiar a un sector (Santos *et al.*, 2013).

Este trabajo empleó la metodología Delphi y el análisis estructural para identificar los factores de éxito de la industria del caucho y plástico asociada al sector cuero, calzado y marroquinería. Esta información será útil para que los empresarios del sector definan estrategias para generar valor agregado y conservar o mejorar su competitividad, ya que el sector puede tomar ventaja si se toman las decisiones estratégicas adecuadas, por lo cual un estudio de prospectiva es oportuno. En especial es de interés para entidades de formación como el SENA, al contar con información del entorno para abrir nuevos programas de formación acordes a las necesidades de la industria, y modificar los programas que ofrece en la actualidad.

Metodología

Se utilizó la metodología Delphi para identificar los factores que determinarán el futuro del sector caucho y

plástico como industria asociada al sector cuero, calzado y marroquinería. Se consultaron 18 expertos, 5 de entidades extranjeras y 13 colombianos, de organizaciones manufactureras, de servicios, gremios y entidades de formación del sector calzado y marroquinería y/o al sector caucho y plástico. En la Tabla 1 se presentan los perfiles de los 18 expertos consultados, con los códigos de identificación asignados. Se les planteó el siguiente interrogante: **“A su juicio, ¿cuáles son los factores que determinarán el futuro del sector caucho y plástico como industria asociada al sector cuero, calzado y marroquinería?”**.

El número de expertos consultados fue adecuado teniendo como referencia el trabajo de Dalkey, en el cual se determinó el número óptimo de expertos para efectuar un análisis Delphi (Dalkey, 1969), se encontró que el error medio del grupo disminuyó exponencialmente hasta un tamaño de muestra de 17 individuos, punto a partir del cual disminuyó de forma lineal. Ese trabajo señaló también que el tamaño idóneo del panel de expertos variará según el objeto de análisis y la homogeneidad del grupo. En un estudio posterior (Adler y Ziglio, 1996), determinaron que cuando el grupo de expertos es homogéneo, se pueden obtener resultados consistentes con un grupo formado entre 10 y 15 personas, y que cuando es un grupo heterogéneo es recomendable un grupo de por lo menos entre 11 y 20 individuos. Una vez identificados los factores en las respuestas de los expertos, se efectuó el análisis estructural obteniendo la matriz de motricidad y dependencia, estableciendo los factores clave para el sector.

Resultados y Análisis

En la Tabla 1 se presenta el perfil de los expertos consultados, ordenados según su perfil y procedencia, asignando un código a cada experto pero conservando el anonimato. Se observó la pluralidad en los perfiles de las personas consultadas, lo cual contribuyó a que el panorama del problema sea considerado desde múltiples perspectivas.

En la Tabla 2 se presentan en forma alfabética los veintiséis factores de éxito identificados por los expertos para el sector del plástico y caucho asociado a la industria del cuero, calzado y marroquinería; y el código asignado a cada factor, con el fin de facilitar su presentación en las tablas y gráficas de las secciones siguientes.

En la tabla 3 se presentan los factores de éxito identificados por cada experto, el número de expertos que coinciden en cada factor. Se observó que la competitividad

Tabla 1. Perfil de los expertos que participaron en el estudio

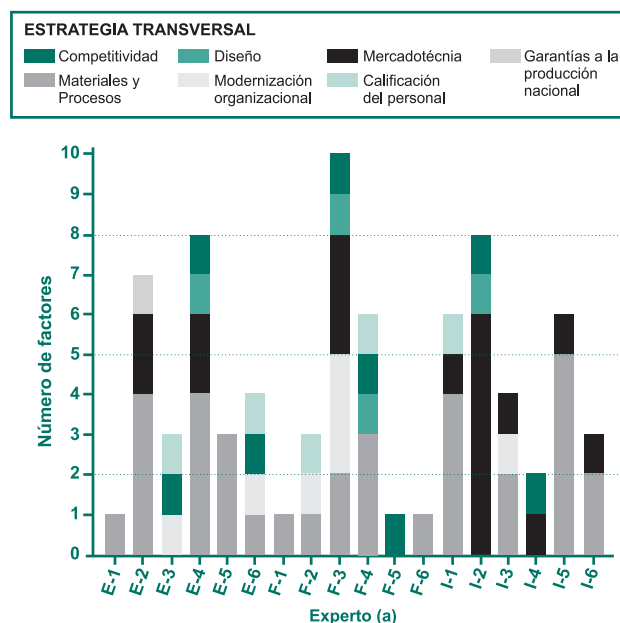
Código	Perfil	Proveniencia
E-1	Directivo de empresa privada del sector calzado dedicada a la manufactura y comercialización	Colombia
E-2	Directivo de empresa privada del sector artículos en caucho dedicada a la manufactura y comercialización	Colombia
E-3	Directivo de empresa privada del sector artículos en caucho dedicada a la manufactura y comercialización	Colombia
E-4	Directivo de empresa privada dedicada a la manufactura y comercialización de calzado y marroquinería	Colombia
E-5	Profesional I+D en empresa privada dedicada a la manufactura y comercialización de artículos industriales en plástico y caucho, e ingeniería de polímeros	Colombia
E-6	Profesional I+D en empresa privada dedicada a la manufactura y comercialización de artículos industriales en plástico y caucho.	Colombia
F-1	Educador en entidad de formación	Colombia
F-2	Educador en entidad de formación	Colombia
F-3	Educador en entidad de formación	Colombia
F-4	Educador en entidad de formación	Colombia
F-5	Educador en entidad de formación	Colombia
F-6	Educador en entidad de formación	Colombia
I-1	Directivo de empresa privada de consultoría en gestión organizacional, ingeniería y procesos productivos	Brasil
I-2	Directivo de agremiación de industriales del calzado	Argentina
I-3	Directivo de centro de innovación	México
I-4	Directivo de centro de innovación	Colombia
I-5	Directivo de agremiación de industriales del calzado	Chile
I-6	Directivo de agremiación de industriales del calzado	México

en precio y calidad fue el factor mencionado por el mayor número de expertos, seguido por la innovación tecnológica y en tercer lugar por el uso de materiales sintéticos. También es de resaltar que nueve de los veintiséis factores sólo fueron propuestos por un experto, lo cual indicaría una baja importancia si a las respuestas se les diera el tratamiento de una encuesta. Estas tendencias serán contrastadas posteriormente con los resultados del análisis estructural.

En la Tabla 4 se muestran los factores agrupados en estrategias transversales, se encontró que la temática con la mayor cantidad de factores fueron los materiales y los procesos de manufactura, seguido por los relacionados con la modernización organizacional y en tercer lugar las estrategias de mercadotecnia. En la Figura 1 se presentan la cantidad de factores identificados por cada experto en su respuesta, agrupando los factores por color según la estrategia transversal a la que pertenecen.

Tabla 2. Factores identificados por los expertos que participaron en el estudio.

Descripción del Factor	Código Factor
Adaptabilidad al entorno del mercado	AdaMer
Articulación con los proveedores de materia prima	ArtPrMP
Bajo desempeño del plástico y el caucho frente al medio ambiente	PrBaEspT
Calificación del personal	CalPers
Cambios del modelo de negocio con enfoque hacia el servicio	CaMNeg
Construcción y posicionamiento de marca	Marca
Darle a las empresas un enfoque internacional	Enflnt
Darle valor agregado al cuero	ValAgCu
Desarrollo y uso de materiales ecológicos	MatEco
Diferenciarse en diseño	DifDis
Disminución de desperdicios	DismDesp
Disminución del uso del cuero natural e incremento en el uso de materiales sintéticos	SinReCue
Escasez del cuero como materia prima	EscCuMP
Garantías para los productores nacionales frente a los productos asiáticos	GarPr
Implementación de procesos de producción eficientes	ImPrEf
Implementación de verdaderas estructuras organizacionales	IEstOrg
Incorporar una planeación adecuada	PlanAd
Innovación tecnológica	InnTec
Mercadotecnia y comercialización	MercCom
Ofrecer productos con altas especificaciones técnicas	PrAlEspT
Ofrecer productos con mayores tiempos de garantía, con servicio posventa asociado	GarSPos
Resaltar las características únicas de los productos, otorgándoles status	StatProd
Satisfacción del cliente	SatClie
Ser competitivos en precio y calidad	CompPyC
Uso de materiales naturales	UMatNat
Uso intensivo de tecnologías de información y comunicación	TIC


Figura 1. Número de factores identificados por cada experto y estrategia transversal a la cual pertenecen los factores identificados por los expertos.

En la Tabla 3 y la Figura 1 se observaron que el número de factores propuestos no dependió del perfil del experto que no tenía ninguna relación con el tipo de estrategia transversal al que pertenece el factor que propone, de tal manera que las respuestas proporcionadas no están afectadas por el tipo de entidad al que pertenece el experto, ni se observó diferencias en la cantidad y tipo de factores emitidos por los expertos nacionales respecto a los internacionales. Es relevante también anotar que con la excepción del factor asociado a la necesidad de contar con garantías para la industria nacional frente a los productos de origen asiático, factor que sólo fue propuesto por uno de los expertos, todos los demás factores y estrategias transversales fueron propuestos indistintamente por expertos del sector productivo, gremial, académico, tanto de carácter nacional como internacional. Esta característica de las respuestas de los expertos es altamente significativa para la metodología Delphi.

En la Figura 2 se presenta el número de expertos que en sus respuestas proponen un mismo factor de éxito para el sector de plástico y caucho asociado a la industria del cuero, calzado y marroquinería. Los factores se agruparon por color según la estrategia transversal a la que pertenecían, como se observa en la Figura 2, si bien los expertos establecieron veintiséis factores determinantes para el éxito del sector plástico y caucho asociado a la industria del cuero, calzado y marroquinería, en dieciséis

Tabla 3. Factores de éxito identificados y el número de expertos que coincidieron en cada factor

EXPERTO	FACTOR																									TOTAL	
	AdaMer	ArtPrMP	BaDesPla	CalPers	CaMNeg	CompPyC	DifDis	DismDesp	Enflnt	EscCuMP	GarPr	GarSpos	IEstOrg	ImPrEf	InnTec	Marca	MatEco	MercCom	PlanAd	PrAIEspT	SatClie	SinReCue	StatProd	TIC	UMatNat		ValAgCu
E-1																											1
E-2																											7
E-3																											3
E-4																											8
E-5																											3
E-6																											4
F-1																											1
F-2																											3
F-3																											10
F-4																											6
F-5																											1
F-6																											1
I-1																											6
I-2																											8
I-3																											4
I-4																											2
I-5																											6
I-6																											3
TOTAL	2	1	1	5	1	8	4	1	1	4	1	1	1	3	7	1	4	5	3	4	2	6	5	1	2	3	

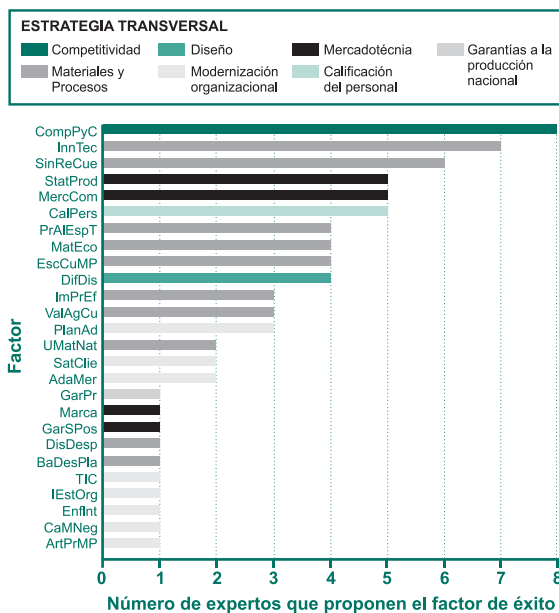


Figura 2. Número de expertos que proponen cada factor de éxito identificados por tipo de estrategia transversal a la que pertenecen.

Tabla 4. Agrupación de los factores de éxito en estrategias transversales

Estrategia transversal	Factores identificados por los expertos que han sido incluidos en la estrategia
Diseño	• Diferenciarse en diseño • Bajo desempeño del plástico y el caucho frente al medio ambiente • Disminución de desperdicios • Escasez del cuero como materia prima • Implementación de procesos de producción eficientes
Materiales y Procesos de Manufactura	• Innovación tecnológica • Desarrollo y uso de materiales ecológicos • Ofrecer productos con altas especificaciones técnicas • Disminución del uso del cuero natural e incremento en el uso de materiales sintéticos • Uso de materiales naturales • Darle valor agregado al cuero
Mercadotecnia	• Ofrecer productos con mayores tiempos de garantía con servicio posventa asociado • Construcción y posicionamiento de marca • Mercadotecnia y comercialización • Resaltar las características únicas de los productos, otorgándoles status • Adaptabilidad al entorno del mercado • Articulación con los proveedores de materia prima • Cambios del modelo de negocio con enfoque hacia el servicio
Modernización organizacional	• Darle a las empresas un enfoque internacional • Implementación de verdaderas estructuras organizacionales • Incorporar una planeación adecuada • Satisfacción del cliente • Uso intensivo de tecnologías de información y comunicación
Productividad y Competitividad	• Ser competitivos en precio y calidad
Garantías a la producción nacional	• Garantías para los productores nacionales frente a los productos asiáticos
Calificación del personal	• Calificación del personal

de esos factores hay por lo menos dos autores que coincidieron en identificarlos como claves para el futuro del sector, obteniendo un nivel de convergencia relevante para el propósito y la validez de este trabajo.

Una vez identificados los factores de éxito mediante la metodología Delphi, se procedió a realizar un análisis estructural basado en el enfoque de prospectiva. Se elaboró una matriz de doble entrada, se estableció la dependencia de cada uno de los factores con los restantes así como la influencia de cada factor sobre los restantes. En este estudio sólo se consideró la influencia real y directa de los factores, desestimando las influencias indirectas o potenciales.

La Tabla 5 presenta la matriz de doble entrada con los resultados del análisis estructural. A partir de los datos consignados en la Tabla 5, se construyó la Tabla 6 en la cual se recopilan los valores absolutos y los porcentajes de motricidad y dependencia asociados a cada uno de los factores identificados. Con los datos calculados en la Tabla 6, se obtuvo el plano de motricidad y dependencia mostrado en la Figura 3, teniendo en cuenta que el porcentaje de separación de las zonas del plano de motricidad y dependencia es 3,8 % pues es el valor obtenido al dividir 100 (porcentaje total de motricidad y dependencia) entre los 26 factores de éxito encontrados en las respuestas de los expertos.

Tabla 5. Matriz de análisis estructural.

Factor	Factor																								Dependencia		
	AdaMer	ArtPrMP	BaDesPla	CalPers	CaMNeg	CompPyC	DifDis	DismDesp	Enflnt	EscCuMP	GarPr	GarSPos	IEstOrg	ImPrEf	InnTec	Marca	MatEco	MercCom	PlanAd	PrAlEspT	SatClie	SinReCue	StatProd	TIC		UMatNat	ValAgCu
AdaMer	-																										20
ArtPrMP		-																									11
BaDesPla			-																								1
CalPers				-																							3
CaMNeg					-																						9
CompPyC						-																					16
DifDis							-																				7
DismDesp								-																			9
Enflnt									-																		15
EscCuMP										-																	3
GarPr											-																5
GarSPos												-															9
IEstOrg													-														6
ImPrEf														-													8
InnTec															-												9
Marca																-											12
MatEco																	-										6
MercCom																		-									16
PlanAd																			-								6
PrAlEspT																				-							7
SatClie																					-						16
SinReCue																						-					7
StatProd																							-				17
TIC																								-			3
UMatNat																									-		5
ValAgCu																										-	5
Motricidad	13	9	10	24	8	14	5	2	6	10	7	7	14	5	15	5	5	7	11	10	2	6	6	12	5	13	231

En la Figura 3 se observa que las fuerzas motrices para el futuro del sector plástico y caucho en relación al sector calzado y cuero son en primer lugar la calificación del personal, lo cual se explica por el impacto que tiene en los demás factores. Este resultado coincide con las tendencias planteadas en los planes de desarrollo regionales y nacionales, que han elegido la educación como uno de los ejes articuladores de crecimiento. También es particularmente de interés para el SENA, que cumple en el país un papel estratégico para la formación. En la zona de poder de la Figura 3 también se encuentran factores asociados a la estrategia transversal denominada modernización organizacional, como la implementación de verdaderas estructuras organizacionales y la realización

de una planeación adecuada, las cuales tienen una alta motricidad pues permiten que una cantidad significativa de los demás factores puedan ser alcanzados.

Es de resaltar que cuatro de los factores de la zona de poder se asocian a los materiales y los procesos de manufactura como son: agregarle valor al cuero natural, la obtención de productos con altas especificaciones técnicas, la escasez del cuero natural como materia prima y las bajas propiedades del plástico en comparación con el cuero natural, factores que implican que se desarrollen ingentes esfuerzos en el campo de la formación, la ciencia y la ingeniería de los plásticos y los cauchos. Y el otro factor de la

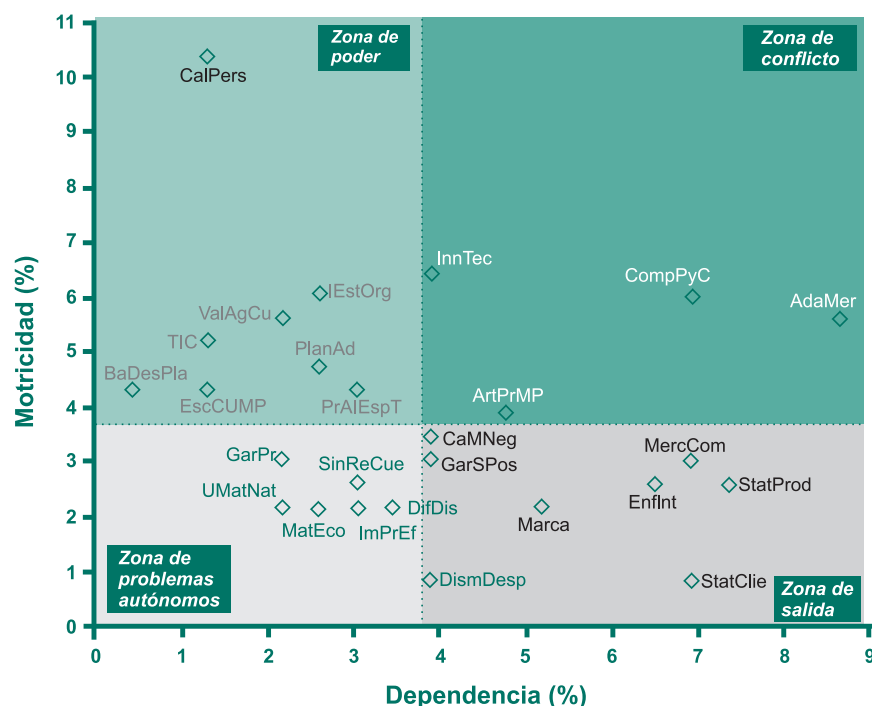


Figura 3. Plano de motricidad y dependencia para los factores identificados por los expertos.

zona de poder, corresponde a la implementación y aprovechamiento de las tecnologías de la información y la comunicación, sin perder de vista que la innovación tecnológica si bien hace parte de la zona de conflicto está muy cerca de la frontera con la zona de poder, por lo tanto también podría ser considerada como una de las fuerzas motrices para el futuro del plástico y el caucho en relación con el sector cuero y calzado.

La competitividad en precio y calidad fue el factor más citado por los expertos como clave para el éxito del sector como se observa en la Tabla 3 y en las Figuras 1 y 2, no es una de las fuerzas motrices encontradas en el estudio. La explicación reside en que si bien presenta la cuarta mayor motricidad, es altamente dependiente de otros factores, por lo cual se trata de un efecto de la implementación de otras estrategias como la calificación del personal, la modernización organizacional y el desarrollo tecnológico en el campo de los materiales y los procesos, de tal manera que entonces debe entenderse más como el resultado de la implementación de otras estrategias claves, que como una estrategia en sí misma.

La disminución del uso del cuero natural e incremento en el uso de materiales sintéticos, el tercer factor más citado por los expertos como se aprecia en la Figura 2, se ubica

en la zona de problemas autónomos, lo cual se atribuye a su bajo impacto en los demás factores de éxito. Se trata entonces de una característica del entorno del mercado que no puede ser alterada por el sector del plástico y el caucho, pero que puede ser tomada como una oportunidad para el desarrollo del sector. Una situación similar se detectó para el uso de materiales ecológicos y el uso de materiales de origen natural.

Conclusiones

- La calificación del personal, el desarrollo tecnológico en lo relacionado con materiales y procesos de manufactura y la modernización organizacional son las tres estrategias transversales con mayor impacto en el futuro de la industria del plástico y el caucho, de acuerdo con el estudio desarrollado usando la metodología Delphi complementada con análisis estructural. Esta información es altamente relevante para que los actores de la cadena productiva del plástico y el caucho, y el sector cuero y calzado como usuarios de ese tipo de materiales, evalúen sus planes de acción vigentes y diseñen los venideros. En el caso específico de las entidades cuya misión es la formación y la innovación, como es el caso del SENA, este estudio aporta criterios para que se revisen las estrategias actualmente empleadas para buscar mejorar aún más la

Tabla 6. Valores y porcentajes de motricidad y dependencia asociados a cada factor.

Código Factor	Motricidad		Dependencia	
	Número	%	Número	%
AdaMer	13	5,6	20	8,7
ArtPrMP	9	3,9	11	4,8
BaDesPla	10	4,3	1	0,4
CalPers	24	10,4	3	1,3
CaMNeg	8	3,5	9	3,9
CompPyC	14	6,1	16	6,9
DifDis	5	2,2	7	3,0
DismDesp	2	0,9	9	3,9
Enflnt	6	2,6	15	6,5
EscCuMP	10	4,3	3	1,3
GarPr	7	3,0	5	2,2
GarSPos	7	3,0	9	3,9
IEstOrg	14	6,1	6	2,6
ImPrEf	5	2,2	8	3,5
InnTec	15	6,5	9	3,9
Marca	5	2,2	12	5,2
MatEco	5	2,2	6	2,6
MercCom	7	3,0	16	6,9
PlanAd	11	4,8	6	2,6
PrAlEspT	10	4,3	7	3,0
SatClie	2	0,9	16	6,9
SinReCue	6	2,6	7	3,0
StatProd	6	2,6	17	7,4
TIC	12	5,2	3	1,3
UMatNat	5	2,2	5	2,2
ValAgCu	13	5,6	5	2,2

pertinencia con las necesidades y tendencias del entorno productivo del plástico, el caucho, el calzado y el cuero.

- La calificación del personal en aspectos relacionados con los materiales y los procesos de fabricación, así como en gestión organizacional con especial énfasis en la modernización de las estructuras organizacionales incorporando el uso de tecnologías de la información y la comunicación, aparece como la estrategia que produciría el mayor impacto sobre el futuro del sector plástico y caucho, ya que abarca todos los factores ubicados en la zona de poder.

- Los factores de éxito más citados por los expertos al aplicar la metodología Delphi no coinciden con los identificados en el análisis estructural como las fuerzas motrices para el sector, demostrando la necesidad de complementar ambas técnicas para que los estudios de prospectiva generen información de mayor pertinencia. Para la realización de este tipo de estudios, es necesario que los responsables sean sumamente cuidadosos con la interpretación de las respuestas suministradas por los expertos cuando se aplica la metodología Delphi, dado que el análisis estructural identificó que varios de los factores mencionados en las encuestas en realidad se tratan de los resultados que se espera obtener al implementar las estrategias mencionadas en otros factores. El ejemplo más relevante es la competitividad en precio y calidad, el factor más citado por los expertos, pero que en realidad es un efecto de la implementación de las fuerzas motrices identificadas con la metodología Delphi y el análisis estructural.

Referencias

- Adler, M., y Ziglio E. (Eds.) (1996). *Gazing into the oracle: the Delphi method and its applications to social policy and public health*. Londres, Reino Unido: Jessica Kingsley Publishers.
- Alcántara, E., T., Zamora, T., Valero, M., y González, J. (2008). Primeros resultados del desarrollo de productos de alta calidad a partir del caucho reciclado - CRIOSINTER. *Revista de Biomecánica*, 49, 21-23.
- Beliczky, L. y Fajen, J. (2001). Industria del caucho. En J. Stellman (Ed.), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 80.1-8.20). Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Subdirección General de Publicaciones.
- Calva, A. (2012, 16 de agosto). El furor del zapato plástico. *El Universal*. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/72890.html>.
- Celedón, N. (2014, 26 de enero). Industria nacional va por el 80 % del mercado del calzado. *Portafolio*. Recuperado de <http://www.portafolio.co/negocios/industria-nacional-va-el-80-del-mercado-del-calzado>.
- Dalkey, N. (1969). *The Delphi Method: An experimental study of group opinion*. Recuperado de: <http://>

- www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2005/RM5888.pdf.
- Duerto. (2014). Equipos de Protección Individual (EPI) - Protección del pie y la pierna. Recuperado de: <http://www.duerto.com/normativa/calzado.php>.
- Landeta, J. (1999). *El método Delphi: una técnica de previsión para la incertidumbre*. Barcelona, España: Editorial Ariel.
- Lopes, D., Ferreira, M., Russo, R., Dias, J. (2015). Natural and synthetic rubber/waste-Ethylene-Vinyl Acetate composites for sustainable application in the footwear industry. *Journal of Cleaner Production*, 92(1), 230-236.
- Naime, R., y Robinson, L. (2009). Tecnologias emergentes em materiais e processos de baixo impacto ambiental para fabricação de calçados, *Tecnicoouro*, (30), 132-137.
- Porter, A. (2010). Technology foresight: types and methods. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 6(1/2/3), 36-45.
- Porter, M., y Kramer, M. (2002). The competitive advantage of corporate philanthropy. *Harvard Business Review*, 80(12), 56-59.
- Quero, L. (2008). Estrategias competitivas: Factor clave de desarrollo. *Revista Científica Electrónica Ciencias Gerenciales*, 10(4), 36-49.
- Serrano, C., Reichert, K., y Schmidt, M. (2007). *Uso de tecnologia limpa na indústria de calçados*. En: I Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre, Brasil.
- Santos, C., Araujo, M., y Correia, N. (Junio del 2013). *Exploring Inter-Relationships between Events to Identify Strategic Technological Competencies: A Combined Approach*. En: International Conference on Innovation, Management and Technology, World Academy of Science, Engineering and Technology, Estambul, Turquía
- Saraswathy, G., Dhanapal, D., Gautham, G., y Bhabendranath, D. (2013). PU viscoelastic memory foam for application as cushion insole/insock in shoes. *Footwear Science*, 5(1), 822-823.
- Silva, R., Rodrigues, J., Pinto, M., Russo, R., y Pereira, C. (2009). Evaluation of shock absorption properties of rubber materials regarding footwear applications. *Polymer testing*, 28(6), 642-647.
- Urueña, B. (2014, 1 de marzo). Larga recuperación para el gremio del calzado en Bogotá. *Actualidad On Line*. Recuperado de: <http://www.actualidadonlinecol.wordpress.com/2014/03/01/larga-recuperacion-para-el-gremio-del-calzado-en-bogota/>.
- Velásquez, S., y Castro, J. (2013). Identificación de factores de éxito para el sector cuero, calzado y marroquinería en Colombia, usando metodología Delphi, análisis estructural y juego de actores. *Informador Técnico*, 77(2), 136-146.

Modelo de interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Gestión de aprendizaje¹

Model of Semantic interoperability between Learning Management Systems

Recibido: 04-11-2014 Aceptado: 29 -05-2015

Alex Julián Dorado²

Carolina González Serrano³

Jovani Alberto Jiménez Builes⁴

Resumen

Actualmente existen gran variedad de Sistemas de Gestión de Aprendizaje - Learning Management System (LMS) al servicio de todos los niveles educativos y las áreas académicas. Esta diversidad origina un problema de semántica en el conocimiento haciéndolo disperso e inexacto debido a que cada LMS maneja sus propios formatos, arquitecturas y especificaciones. Esto dificulta la interoperabilidad de la información entre diferentes plataformas afectando principalmente a los estudiantes. En el artículo se describe la propuesta de un modelo de interoperabilidad semántica para resolver las necesidades de intercambio de información caracterizadas de los LMS, a partir de las propuestas existentes de solución en el campo de las especificaciones de e-learning, los servicios Web y las ontologías en general.

Palabras clave: Interoperabilidad; contenidos de aprendizaje; sistemas de gestión de aprendizaje; Ontologías.

Abstract

Currently there are a variety of Learning Management Systems (LMS) to serve all levels of education and academic subject areas. This diversity creates a problem doing semantic knowledge dispersed and inaccurate because each LMS manages its own format, architecture and specifications. This makes it difficult the interoperability of information across platforms mainly affecting students. This paper describes the proposal of a model of semantic interoperability to solve the needs of identified information exchange based on existing proposal for solutions in the field of e-learning specifications, the Web services and the ontologies in general.

¹ La investigación, se adelantó dentro del grupo de inteligencia Computacional en la universidad del Cauca-Colombia dentro del proyecto Modelo de interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Gestión de Aprendizaje-Learning Management System LMS.

² Colombiano, Magíster en Computación, Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Universidad del Cauca-Colombia, adorado@unicauca.edu.co.

³ Colombiana, PhD in Information and Communications Technologies, Universidad del Cauca - Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Colombia, cgonzals@unicauca.edu.co.

⁴ Colombiano, PhD in Informatics, Universidad Nacional de Medellín-Grupo de Investigación de Inteligencia Artificial en educación-Colombia, jajimen1@unal.edu.co.

Keywords: Interoperability; learning content; learning management systems; Ontologies.

Introducción

Para mejorar los alcances a diferentes tipos de población, la educación se ha apoyado en tecnologías soportadas sobre Internet denominadas e-learning (Enríquez, 2004). El e-learning ha permitido a la educación estructurarse en modalidades presenciales, semipresenciales y virtuales. Todo en procura de realizar prácticas pedagógicas a menudo personalizadas para lograr la interiorización y apropiación efectiva de los conocimientos que conforman el proceso educativo (Facundo, 2005). Estas tecnologías de soporte han ido evolucionando, y se han clasificado en tres grandes capacidades como: (i) Sistemas de Gestión de Aprendizaje - Learning Management Systems (LMS), (ii) Sistemas de Gestión de Contenido de Aprendizaje - Learning Content Management Systems (LCMS) y (iii) Sistemas de Tutoría Inteligente - Intelligent Tutoring Systems (ITS) (Mikic-Fonte *et al.*, 2010). En general, en cuanto a las funcionalidades tecnológicas, los LMS gestionan la información para los usuarios, los LCMS permiten generar, almacenar y transferir información en diversos formatos y especialmente en forma de Objetos de Aprendizaje (OA) - Learning Objects (LO) y los ITS posibilitan soluciones de acompañamiento personalizadas y administración de la ruta de enseñanza. Uno de los mayores desafíos tecnológicos de e-learning se planteó en términos de Interoperabilidad entre plataformas LMS y sus repositorios (Bueno-de-la-Fuente, 2008; Lee, *et al.*, 2011; Baile, 2008) definió la interoperabilidad en tres niveles: (i) técnico, (ii) sintáctico y (iii) semántico. En e-learning, la interoperabilidad técnica permitió la interconexión a nivel de comunicación de protocolos e intercambio de información entre los equipos informáticos que los soportan. La interoperabilidad sintáctica posibilita el intercambio de información en un formato común estandarizado. Y finalmente, la interoperabilidad semántica permitió el intercambio de información, utilizando un vocabulario común y compartido que evita inexactitudes en la interpretación del significado de los contenidos que se comparten. Así pues, a este nivel pertenecen los metadatos, los modelos de representación de la información, vocabularios y como estrategia innovadora las ontologías (Berners *et al.*, 2001). La definición más común de ontología en informática

es la especificación formal y explícita de una conceptualización compartida de un dominio. Esta contiene elementos entre clases, atributos, relaciones y axiomas lógicos para comprender el dominio representado (Myroshnichenko and Murphy, 2009). Las Ontologías son representadas en lenguajes formales para hacerlas compatibles y procesables por las máquinas, como el caso del Lenguaje de Ontología Web (OWL) que fue recomendado por el W3C para su creación (Santoso *et al.*, 2011). El OWL le proporciona a las máquinas mayor interpretabilidad de los contenidos de: XML (Extensible Markup Language), RDF (Resource description Framework) y RDFS (RDF scheme), aportando vocabulario adicional junto con una semántica formal (Web-Ontology Working Group, 2004). El presente trabajo propone un Modelo de Interoperabilidad basado en ontologías entre LMS, considerando los niveles técnicos y sintácticos basados en el uso de estándares para documentación de Repositorios de Objetos de Aprendizaje ROA y modelos de representación relacionales de la información de los LMS y a partir de ello propone un mecanismo ontológico para compartir información basado en la representación compartida del conocimiento.

Trabajos Relacionados

Los trabajos relacionados con la investigación se plantean alrededor de las directrices de:

- **Los modelos de interoperabilidad (MI) en computación.** Existen diversos marcos de trabajo para mejorar la interacción de sistemas y plataformas. Por ejemplo (Goodchild, 1999; Munk, 2005) analizaron la necesidad de intercambio de información entre los componentes, desde distribución de los sistemas y la explotación en los niveles técnicos, sintácticos y semánticos. Sus enfoques dan solución a i) datos distribuidos, ii) la infraestructura global de información y de computación distribuida, iii) la tecnología de la comunicación heterogénea, iv) y las necesidades de intercambio de información para lograr alcances en un sistema global. Estos modelos son planteados como mecanismos externos a los sistemas, el modelo de interoperabilidad (LCIM) (Tolk, 2004) se planteó como un modelo de interoperabilidad de niveles propuesto como mecanismo intermedio. Se describen los niveles más relevantes y afines a la investigación de este modelo: En el nivel 0, no se establece la conexión en absoluto. No hay interoperabilidad entre los sistemas. Los datos se utilizan dentro de cada sistema autónomamente. En el nivel 1,

el nivel técnico de conectividad permitió interconexión física a través de bits. En el nivel 2 o nivel sintáctico, se intercambiaron datos en formatos estandarizados o protocolos compatibles. En el nivel 3 o nivel semántico, se intercambiaron datos con su contexto, es decir, la información, se pudo intercambiar con su significado inequívoco *dado por los modelos de referencia comunes*.

• **Los mecanismos de interoperabilidad enfocados a e-learning.** A nivel técnico se encontraron los siguientes niveles: (i) comunicación, (ii) transporte, (iii) almacenamiento y (iv) representación de la información, como Z39.50 (Lynch, 1991), OAI-PMH (Barrueco y Coll, 2003) y SOAP (Box *et al.*, 2000), entre otros. A nivel sintáctico marcos trabajo para intercambio de materiales en base a las especificaciones de lenguajes, mensajes y formatos basados en XML (Extensible Markup Language), y esquemas XSD (XML Schema Definition). Ejemplos de estos enfoques son expuestos en (Hernández, 2003; Najjar *et al.*, 2003; Alvarez *et al.*, 2006; Vélez *et al.*, 2008; Gonzalez *et al.*, 2009b; Lluvia Morales *et al.*, 2010) usando especificaciones como: LOM («LOM», 2002), las guías de lineamientos y recomendaciones de la AICC (AICC, 2014), SCORM (SCORM, 2012), especificaciones IMS (IMS, 2014), IMS Learning Design - IMS LD («IMS LD», 2014), IMS question and test interoperability - IMS QTI («IMS QTI», 2014), IMS reusable definition of competency - IMS RDCEO («IMS GLC-RDCEO», 2010) e IMS-Content Packaging («IMS CP», 2014), entre otras.

Las propuestas para avanzar en el intercambio semántico de contenidos ha trascendido a las especificaciones, dado que las necesidades de los LMS van más allá de intercambiar contenidos, hacia la posibilidad de *gestionarlos automáticamente* con la *mayor precisión y calidad* como sea posible. Los esfuerzos están concentrados en mecanismos semánticos insertos en los LMS y mecanismos externos. Entre los mecanismos internos en los LMS, la comunidad científica ha propuesto la integración de repositorios semánticos en las plataformas. Estos son utilizados por los ITS para la personalización y reúso de los contenidos y administración de la ruta de enseñanza como en el caso de (Raju y Ahmed, 2012; Torres, *et al.*, 2013; Ochoa *et al.*, 2014). Sin embargo la mayoría de los repositorios de los LMS comunes están por fuera de estos marcos de trabajo y su ajuste involucró un complejo proceso de rediseño, costes y conocimiento de expertos. Por otro lado de manera generalizada y como mecanismo de interoperabilidad semántica (IS) externo de LMS, se han

propuesto marcos de trabajo para compartir información de: i) bases de datos relacionales - Relational database (RDB), se busca la integración de los datos a través de los enfoques de la Web Semántica (Berners-Lee *et al.*, 2001) para acceder de forma precisa a los recursos requeridos en las RDB. Para lograrlo la W3C se ha reconocido la necesidad de realizar transformaciones de representación de RDB a OWL (Vavliakis *et al.*, 2013). Este es el caso de (Cuéllar *et al.*, 2011a; Sequeda *et al.*, Choi and Kim, 2012), etc. ii) y de repositorios de Objetos de Aprendizaje (ROA). En segundo caso de IS de ROA, se han formulado diversos trabajos que suponen repositorios semánticos con representaciones formales OWL y a partir de ello plantean mecanismos externos con algoritmos de correspondencia y equivalencia entre conceptos para soportar búsquedas, recuperación y clasificación de los materiales como en el caso de (Farhat *et al.*, 2015; Archint and Arch-int, 2013; Lee *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2011). Sin embargo, los planteamientos de interoperabilidad en todos los casos no consideran las necesidades de interoperabilidad en relación a los ROA comunes y los diversos formatos de los materiales.

Otros aportes son los multinivel. En primer lugar se encuentran las arquitecturas orientadas a servicios (SOA) para plataformas LMS. Estos se fundamentan en las especificaciones de los Framework: IAF - IMS Framework Abstracto IMS (IMS, 2014) y OKI - The Open Knowledge Initiative-OKI (OKI, 2012). Estas arquitecturas plantean una distribución de componentes en capas interconectadas a través de servicios WEB. Esta estrategia es planteada para permitir la interoperabilidad entre herramientas pudiendo acceder, adaptar y reutilizar los servicios soportándose en la Web Semántica para alcanzar niveles de interoperabilidad. En segundo lugar se encuentran las especificaciones CMI (Computer Management Instrucción) de AICC - Aviation Industry CBT Comité (AICC, 2014). Esta entrega recomendaciones y lineamientos semánticos de los materiales de aprendizaje para entornos basados en archivos y apoyados en la WEB. Sin embargo, ambas aproximaciones fueron creadas después de las implementaciones de los actuales LMS y su puesta en marcha en las actuales plataformas requiere de su consolidación y del conocimiento de un experto. Este es el caso de (Fontenla *et al.*, 2010; Hardy *et al.*, 2011; CAMPUS PROJECT, 2013).

Enfoque del trabajo

La propuesta tomó como base las necesidades y capacidades de interoperabilidad de las plataformas LMS y planteó un modelo de interoperabilidad semántica (MIS) basado en niveles a través de componentes como

mecanismo externo. De tal forma que cualquier LMS se pueda ajustar sin modificaciones significativas del mismo. La propuesta tomó en cuenta los trabajos relacionados con: i) la interoperabilidad en base a las especificaciones (nivel sintáctico) (Arch-int and Arch-int, 2013; Lee *et al.*, 2011), los mecanismos de transformación de RDB a OWL (Choi and Kim, 2012; Sequeda *et al.*, 2011) y a partir de ellas se plantearon componentes adicionales para la armonización del conocimiento a partir de su transformación, formalización y correspondencia semántica. La estrategia se soportó en ontologías de dominio y alto nivel en total acuerdo con los lineamientos de la Web Semántica. Con respecto a los trabajos relacionados con el nivel Semántico donde se ubicó la presente propuesta, se recogieron los enfoques generales de integración de contenidos descritos y almacenados en modelos relacionales y los enfoques de trabajo de interoperabilidad de OA en un solo modelo aplicable a la mayoría de los LMS caracterizados.

Materiales y métodos

Se presentan las etapas metodológicas: i) caracterizar los niveles de interoperabilidad de los LMS a partir de su documentación técnica, ii) Caracterizar las necesidades de interoperabilidad de los LMS en base a trabajos científicos relacionados según temas centrales identificados, iii) y a partir de ello proponer el modelo de interoperabilidad para dar respuesta a las necesidades y falencias identificadas. Esta metodología por etapas se expone en la Figura 1.

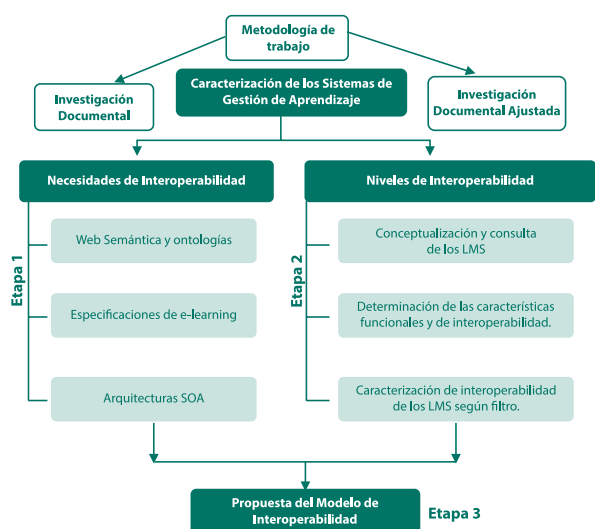


Figura 1. Diagrama Metodológico de la Investigación

Para abordar la etapa uno (1) y dos (2), dada la amplia diversidad de documentación relacionada en el presente trabajo se usó la metodología de investigación documental (MID) (Serrano, 2002). A través de la MID se determinaron

las necesidades y los niveles de interoperabilidad de los Sistemas de Gestión de Aprendizaje. Se ejecutó en cinco fases de investigación: (i) Preparación, (ii) Descripción, (iii) Interpretación por Núcleos Temáticos, (iv) Construcción Teórica Global y (v) Extensión y Publicación.

Etapa 1. Necesidades de Interoperabilidad de los LMS

Las etapas de preparación y descripción de la investigación se enfocaron en las investigaciones relacionadas en temas centrales sobre: i) Interoperabilidad basada en las especificaciones de e-learning, Arquitecturas orientadas a servicios, así como ontologías y Web Semántica. De la aplicación de la MID en sus fases de Interpretación y construcción teórica global, se obtuvo las necesidades de interoperabilidad descritas en la Tabla 1.

Etapa 2. Niveles de interoperabilidad de las actuales plataformas

En la caracterización de los niveles de interoperabilidad de los LMS se aplicó la MID ajustada de 5 fases:

- **Fase de preparación:** se realizaron las actividades de: i) Consulta de los LMS, ii) Filtro de los LMS. En el estudio detallado de la fase de preparación se analizaron varios tipos de LMS entre: (i) LMS Comerciales para Educación, (ii) LMS de código abierto para educación y (iii) LMS para corporaciones. De este grupo de más de 500 LMS se seleccionaron los nueve LMS por su patrón de uso de acuerdo a las investigaciones de (Alvarez y Gutierrez, 2009; Thibault, 2011; Sanchis, 2013) con el criterio de que fueran de código abierto y la información fuera accesible.

- **Fase de descripción:** se realizaron las actividades de determinar en los LMS: iii) las características funcionales, iv) las características de interoperabilidad técnica, sintáctica y semántica. En la fase de descripción se identificaron los núcleos temáticos y analizaron las características de los LMS relacionadas con interoperabilidad de acuerdo a las necesidades y modelos identificados como: i) Soporte técnico de gestión de repositorios, ii) la posibilidad de migración de formatos, iii) la característica de neutralidad de contenidos, iv) interfaces abiertas de interoperabilidad con otros LMS, v) la capacidad de gestión de los repositorios LMS, vi) la compatibilidad de los repositorios con estándares de e-learning, vii) la representación de los contenidos en repositorios de objetos de aprendizaje (ROA), viii) modelo de datos y ix) funcionalidades semánticas. De este análisis se detectaron las funcionalidades de las plataformas, así como necesidades de interoperabilidad semántica como desafío.

Tabla 1. Necesidades de interoperabilidad de los LMS

Temas centrales	Unidades de Análisis	Necesidades de interoperabilidad
Especificaciones de e-learning	(Hernández, 2003), (Alvarez, Espinoza, and Bucarey, 2006; J, R, A, and J.L, 2008; Gonzalez <i>et al</i> , 2009a; Morales and García-Gorrosieta, 2010; Najjar <i>et al.</i> , 2003, (Velez <i>et al.</i> , 2008),	En contenido de Aprendizaje: 1. Recuperación de objetos de Aprendizaje. 2. Reusabilidad transparente de objetos de aprendizaje entre LMS. 3. Durabilidad de los contenidos. 4. Búsquedas y recuperación efectivas de contenidos de aprendizaje. 5. Independencia de contenidos del hardware y software. 6. Portabilidad de los contenidos entre plataformas. 7. Mecanismos para compartir información de manera efectiva entre LMS.
Arquitectura orientadas a Servicios	(Martínez and Farinango, 2011 y CAMPUS PROJECT, 2013)	En Servicios y herramientas 8. Servicios intermedios de interoperabilidad semántica. 9. Mecanismos para la interoperabilidad de herramientas entre LMS.
Ontologías, Web Semántica	(González <i>et al.</i> , 2010; Cuéllar <i>et al.</i> , 2011b; Ming <i>et al.</i> , 2011; Raju and Ahmed, 2012; Torres <i>et al.</i> , 2013; Ochoa <i>et al.</i> , 2014).	De representación, transformación y correspondencia de la información 10. Traducción de las bases de datos RDB a ontologías de aplicación. 11. Integración bases de datos relacionales de LMS. 12. Mecanismos de correspondencia entre las clases de ontología, apoyados en ontologías de dominio. 13. Inclusión de marcos de referencia de intercambio de conocimientos entre LMS de forma totalmente automática. 14. Clasificación semántica de OA desde una base de conocimiento local o remoto en base a dominios específicos. 15. Propuestas de arquitecturas externas para mejorar la calidad y el acceso de los OA en la formación. 16. Propuestas de Sistemas Globales de aprendizaje, orientadas a servicios, flexible a la inclusión de nuevas herramientas, reprogramación o la adaptación de las partes del sistema interoperable para contenidos y herramientas de terceros.

• **Fase de interpretación y construcción teórica global:** se realizaron la v) Caracterización de los LMS por su modelo de datos, vi) Análisis de Accesibilidad de datos de los LMS según sus repositorios y vii) Análisis de comparación y contraste entre LMS de acuerdo a sus características técnicas y de interoperabilidad.

Entre los LMS dominantes seleccionados se encuentran: (i) Moodle («Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org», 2015), (ii) dotLRN («LRN Home», 2015), (iii) Sakai («Home | Sakai», 2014), (iv) Blackboard («Blackboard», 2015), v) Person Learning Studio («Pearson LearningStudio», 2015), vi) Atutor («Tutor LMS», 2014), vii) Bodington («Bodington», 2013), viii) Claroline («Consortium Claroline», 2015) ix) y Drupal («Drupal», 2015). En el estudio se encontró que los LMS de código abierto son sistemas altamente dominantes en la comunidad educativa. De la evaluación de las características funcionales de interoperabilidad de estas plataformas LMS según Tabla 2, se emitió el concepto generalizado del cumplimiento de estas características bajo el concepto de Funcionalidad solucionada (FS) y funcionalidad por solucionar (FPS). En la evaluación se consideró que los LMS cumplieran con esta funcionalidad, cuando por lo menos el 80% de la muestra de los LMS satisfacían la característica evaluada. Del análisis realizado a la muestra de los LMS se pudo concluir de manera general que los LMS: i) Poseen soporte técnico de protocolos en sus repositorios para el intercambio de

información basados en FTP, SMTP, HTTP, etc. ii) No soportan migración de formatos entre plataformas por lo cual tampoco la neutralidad de contenidos, iii) Todos los LMS soportan OA según las especificaciones de e-learning, iv) Los contenidos son representados y documentados en XML. v) Los modelos de representación de la información de los LMS en su mayoría son de tipo relacional, v) la mayoría de LMS alcanzan niveles de interoperabilidad técnica y/o sintáctica, pero ninguno de ellos evidencia aspectos de interoperabilidad semántica.

Resultados

• Propuesta de solución- Modelo de Interoperabilidad Semántica –MIS

A partir de la caracterización que identificó las necesidades y niveles actuales de interoperabilidad, se plantó el MIS. La propuesta del MIS se basó en arquitectura de capas de datos, presentación y negocios (Moquillaza *et al.*, 2014) como se expone en la Figura 2. En la capa de datos se encuentran los contenidos representados en RDB y ROA correspondientes al nivel 0. Los niveles 1, 2 y 3 se proveen por el MIS en su capa de lógica de negocio. La capa de interfaz provee los métodos y funciones de acceso a los niveles inferiores.

Tabla 2. Características de los LMS

FUNCIONALIDADES DE INTEROPERABILIDAD DE LMS	Moodle	DoLRN	Sakai	Angel/bb	Desire-2learn	Person Learning Studio	Atutor	Bodington.	Claroline	Drupal	CONCEPTO GENERALIZADO	
											FS	FPS
SOPORTE TÉCNICO	FTP, SMTP, HTTP,	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	FTP, SMTP, HTTP	SMTP, HTTP,	FTP, SMTP, HTTP	FTP CLI-ENTE, SMTP, HTTP, SOAP	FTP, SMTP, HTTP	X	
MIGRACIÓN DE FORMATOS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO		X
NEUTRALIDAD DE LOS CONTENIDOS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		X
INTERFACES ABIERTAS CON LMS U OTROS SISTEMAS ERP	NO	NO	NO	NO	NO	NO	OAUTH API	NO	NO	NO		X
REPOSITORIO GESTIONABLE (I)	SI	SI	SI	INDEFINIDO	INDEFINIDO	INDEFINIDO	SI	NO	SI	SI	X	
COMPATIBILIDAD DEL REPOSITORIO CON ESTÁNDARES	IMS-LD, IMS CP, IMS ENTERPRISE, IMS MD, IMS QTI Y SCORM	AICC, IMS CONTENT PACKAGING, IMS QTI, IMS ENTERPRISE Y SCORM	IMS CONTENT PACKAGING, IMS QTI Y SCORM	SCORM 1.2 SCORM 1.3	IMS-LD, IMS CP, IMS ENTERPRISE, IMS MD, IMS QTI Y SCORM	AICC, IMS CONTENT PACKAGING, IMS QTI, IMS ENTERPRISE Y SCORM	IMS-LD, IMS CP, IMS ENTERPRISE, IMS MD, IMS QTI Y SCORM	NINGUNO	IMS CONTENT PACKAGING, IMS QTI Y SCORM	SCORM, IMS Y MARC		X
CONTENIDO REPRESENTADO EN XML (I) Y ALMACENADO EN XML (II)	XML	XML	XML Y RDF	XML	XML	XML	XML	NINGUNO	XML	XML/RDF		X
TIPO DE MODELO DE DATOS	RELACIONAL	ORIENTADO A OBJETOS	RELACIONAL	INDETERMINADO	RELACIONAL	INDETERMINADO	RELACIONAL	INDETERMINADA	INDETERMINADA	RELACIONAL		X
FUNCIONALIDADES SEMÁNTICAS	NINGUNA	NINGUNA	WEB SEMÁNTICA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA		X

Específicamente los componentes en las capas del modelo en su lógica de negocio consisten en: i) componente técnico de gestión de la información (CTGI), ii) Componente técnico de conversión de formatos (CTCF), iii) componente de formalización conceptual para sistemas con bases de datos relacionales (CFCRDBS), iv) componente de formalización conceptual para ROA (CFCROA), v) Mapeador Ontológico (MO), vi) Interfaz de gestión (IG) vii) Modelos de información (MI).

Estos componentes satisfacen las necesidades de interoperabilidad caracterizadas en la etapa 1 y que no fueron tampoco evidenciadas dentro del conjunto de funcionalidades de los niveles actuales de interoperabilidad de los LMS. La relación de las necesidades de interoperabilidad identificadas en los LMS en relación a los componentes del modelo expuesto en la Figura 3, se corresponden en la Tabla 3. A continuación se describen en detalle las capas y componentes del modelo.

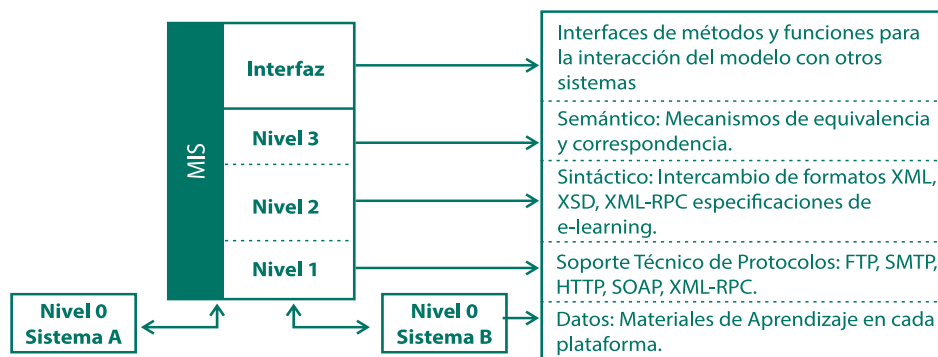


Figura 2. Plantilla MIS

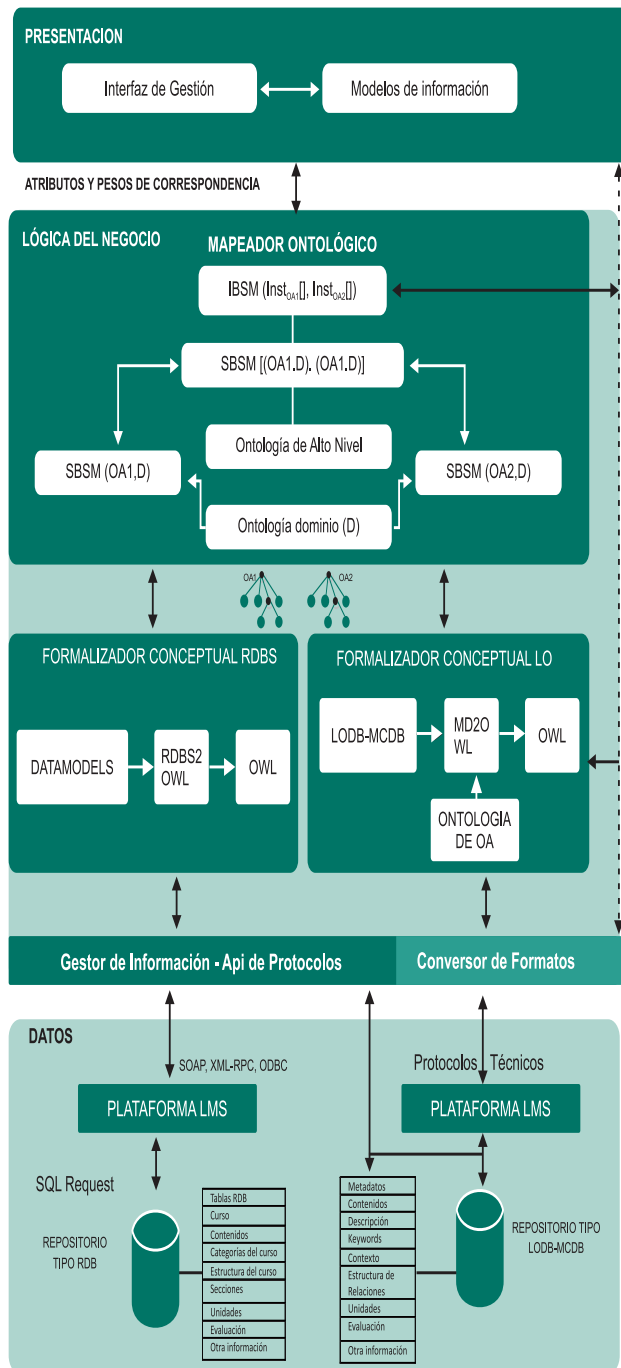


Figura 3. Modelo General de Interoperabilidad Semántica

Capa de Datos

En esta capa se ubican los contenidos y datos especificados de e-learning. Los datos están representados en diferentes esquemas dentro de las plataformas instanciados bajo dominios específicos.

Los datos a considerar son los modelos de

Tabla 3. Necesidades de interoperabilidad vs componentes del Modelo MIS.

Necesidades	Componente
1	CTGI
2,5,6	GTGI – CTCF
3	CTCF
4,7,8	MIS
10,11	CFCRDBS
12,13	MO
15	MIS
9,14,16	NO SE CUMPLE

representación de la información de materiales de aprendizaje y su contexto. En esta información se tuvo en cuenta de los espacios virtuales las competencias de aprendizaje, objetivos de aprendizaje, herramientas del docente, evaluaciones, etc. Según la caracterización, se encontró que esta información se encuentra como: i) Bases de Datos Relacionales-Relational database (RDB), ii) Bases de Datos de Objetos de Aprendizaje - Learning Object Database (LODB). En el caso de los RDB, en los LMS de código abierto cuentan en general con los modelos de datos relacionales. Estos son bien documentados y en cierto grado equivalentes entre todos los LMS. Tales modelos son ricos en información contextual del aprendizaje. Esta puede ser extraída para procesos posteriores a través de protocolos de consulta e interconexión como Open Data Base Connectivity (ODBC), Structured Query Language (SQL), etc., y mecanismos de transformación de enfoques semánticos (Do, 2006; Euzenat y Shvaiko, 2013). Un ejemplo de los esquemas de información contenida en los modelos de datos relaciones RDB de Moodle y de los OA de SCORM se presenta en la Figura 4. En cada uno de estos esquemas a pesar que los datos son representados en formatos diferentes a través de RDB y en base a las especificaciones de e-learning SCORM, se almacena información equivalente en relación a la intención formativa. Sin embargo, las plataformas no tienen métodos para corresponder las necesidades de aprendizaje con contenidos disponibles. Esto debido a la diferencia de representación y ausencias de mecanismos de unificación. Para lograrlo se propone la lógica de Negocio en el MIS, con sus componentes descritos en detalle a continuación.

Capa de Lógica de Negocio

La capa de lógica de negocio está concebida como una estrategia semántica de e-learning debido a que esta se

Course Resources RDB	Learning Objects resource-SCORM
id	Identifier
name	Title
Description	Catalog
Module	Entry
Instance	Lenguaje
Sección	Descripción
Path	Keywords
Time_modified	Location
file_type	Format

Figura 4: Esquemas de datos de Moodle y OA SCORM

apoya en ontologías de dominio como modelo de referencia comunes para la correspondencia de información. A continuación se detalla cada uno de los componentes de mecanismo.

• Gestión y conversión de la información

Este componente provee: los métodos de Gestión y conversión de la información como se muestra en la Figura 5. Actúa sobre los repositorios de información, gestionándolos a través de una interfaz de programación de aplicación (API) de protocolos técnicos entre los cuales estan SOAP, FTP, HTTP, ODBC, etc., entre otros. Entrega los metadatos y modelo de datos a los niveles superiores. Para lograrlo soporta capturas de: i) modelo de datos relacionales de las plataformas, ii) los manifiestos de los OA. De otro lado, por las necesidades de interoperabilidad 1,2,4,5 y 7 de la etapa 1, como enfoque de solución es planteado un componente de transformación para la operación transparente con diferentes especificaciones y formatos según la compatibilidad de la plataforma («ASSEC», 2008).

• Formalizador conceptual

Este es un componente base del modelo. Su función es extraer la información de la capa de datos y convertirla

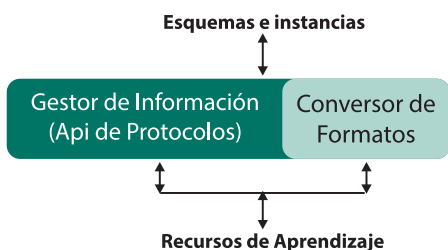


Figura 5. Gestión de la información y conversión de formatos

a ontologías de aplicación para representar RDB y ROA a través de transformadores automáticos. Para lograrlo se usan dos enfoques a mencionar: i) Direct mapping para RDB, donde el esquema SQL/METADATOS de la base de datos es transformado mediante reglas con componente semántico a una Ontología y los datos relacionales son expuestos como instancias de la Ontología generada, ii) y el otro método aplicado a la formalización de ROA supone la existencia de una ontología de dominio que envuelve la base de datos de tal manera que su contenido aparece como instancias de la Ontología. A continuación se detallan los dos (2) mecanismos de formalización.

Formalizador conceptual RDBS: En el caso de los RDB actualmente los enfoques de trabajo sobre transformación se tipifican como: (i) Transformación directa de esquemas relacionales a ontologías (Direct mapping), (ii) Transformación de esquemas entidad-relación (ER) a ontologías y (iii) Transformación de esquemas relacionales en combinación con semánticas de dominio adicionales (Sequeda et al., 2011; Myroshnichenko y Murphy, 2009; Levshin, 2009). El enfoque de este componente sobre el modelo MIS, fue trabajado en la pirámide de investigación en ingeniería y como parte del trabajo (Bravo y Suarez, 2013). Esta transformación directa tiene en cuenta los artefactos de representación habitual RDBS. Tales como tablas, llaves primarias, llaves foráneas, atributos nulos y no nulos, tipos de datos, etc. Adicionalmente se tiene en cuenta otros artefactos no considerados en las investigaciones consultadas como las relaciones y tipos de herencia. Una vez se realizaron las transformaciones del modelo de datos a la ontología resultante, se enriqueció semánticamente por la transformación de las nuevas reglas. Para estructurar este componente se caracterizaron los esquemas de transformación bajo los siguientes criterios: i) Las ontologías resultantes cumplen con el estándar de la W3C, ii) Uso del enfoque Direct Mapping, iii) Presentación de reglas de transformación usadas. Sobre los trabajos de investigación se estudiaron el conjunto de reglas base y se crearon las faltantes. El estudio consideró 25 reglas base, redefinió una regla ambigua y formuló 4 nuevas reglas de herencia. El diagrama de paquetes del servicio se muestra en la Figura 6.

Formalizador conceptual de Objetos de Aprendizaje: Los objetos de aprendizaje se soportan en las especificaciones de e-learning que describe su contenido a través de metadatos en XML. Este lenguaje carece de expresividad semántica por lo que un mismo OA se puede describir sintácticamente a través de varios esquemas e instancias. Esta falta de descripción semántica de los

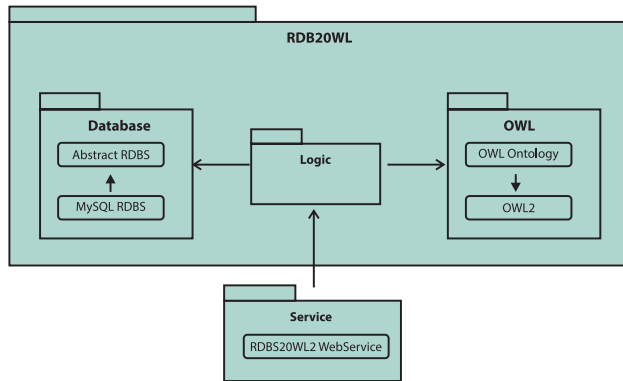


Figura 6. Diagrama de paquetes del servicio.

metadatos de los OA, hace que se presenten limitaciones a la hora de pretender reusar OA, por tanto es necesario llevarlos y transformarlos del nivel, de metadatos estándar a metadatos semánticos a través de estrategias que evalúen su contexto en dominios específicos (Al-Khalifa y Davis, 2006). Estas transformaciones han sido abordadas por la comunidad científica y se han propuesto iniciativas de solución basadas en ontologías existentes para transformar los metadatos de los OA provistos por las especificaciones en información con representación semántica de los OA (Esteban-Gil *et al.*, 2009; Malik, 2009; Santos *et al.*, 2007). Como resultado de ello, las asociaciones de e-learning han propuesto iniciativas de representación de sus OA a través de esquemas ontológicos que representan los recursos de aprendizaje. Como ejemplo una ontología de representación de LOM («LOM», 2002) se muestra en la Figura 7.

En el modelo propuesto, para continuar con el procesamiento computacional, se realizó el mapeo de los esquemas XML a la ontología de los objetos de aprendizaje a través de dos procesos: *El primer* proceso mapea de notación de XML a OWL, se aseguró: i) mapeo de clases: Es decir, se mapea un nodo XML a un concepto OWL y

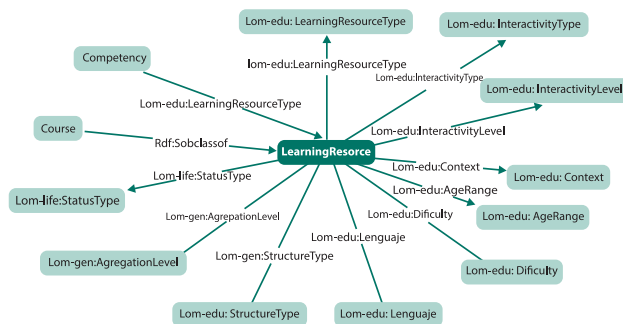


Figura 7. Vista parcial de la ontología Cursos y recursos educativos (Santos *et al.*, 2007)

propiedades datatype (mapeo de un nodo XML a una propiedad datatype OWL), ii) mapeo de propiedades de objeto. Este relaciona dos clases mapeadas. Esta notación se define en la Tabla 4.

El segundo: la transformación de instancias OWL. proceso aseguró que los identificadores de las clases sean únicos. La herramienta disponible se presenta en («JXML2OWL Project»).

Mapeador ontológico

El mecanismo de integración de los LMS buscó la integración de las fuentes de datos de contenidos de aprendizaje de los LMS. Esta integración ya ha sido trabajada ampliamente en otros dominios de las ciencias

Tabla 4:Notación de mapeo XML-OWL

Mapeo	Notación WL
Class	(OWL Class URI, Xpath expression)
	(OWL Class URI, Xpath expression, ID Xpath expression)
Propiedades Datatype	(OWL Datatype Property URI, Domain Class Mapping, XPath Expression)
Propiedades de objetos	(OWL Object Property URI, Domain Class Mapping, Range Class Mapping)

Fuente: (Rodrigues, Rosa, y Cardoso, 2006)

computacionales y descrita a través de estrategias denominadas en la literatura científica como scheme matching (Do y Rahm, 2002), ontology matching (Euzenat *et al.*, 2007), ontology alignment (Euzenat *et al.*, 2004,), semantic correspondence (Do, 2006), etc. Para referirnos a esta integración técnicamente en e-learning se denominará como Scheme Matching (SM). Se analizaron los beneficios de aplicar SM en e-learning y se justificó la estrategia de SM seleccionada. La aplicación de SM tiene varios enfoques de aplicación dependiendo de aspectos relacionados con la: i) información de entrada, ii) el proceso de correspondencia, iii) y la información deseada de salida. En la tabla 5 se presenta las características de las etapas del proceso de correspondencia que son posibles y aplicables para lograr interoperabilidad en e-learning.

Específicamente, en e-learning se determinó la correspondencia entre dos esquemas que representan el contenido de recursos educativos de una RBD y un objeto de aprendizaje, como los que se muestra en la Figura 8.

Para establecer la estrategia de correspondencia, se analizaron los aportes de los enfoques de SM propuestos por (Shvaiko y Euzenat, 2005;Do, 2006; Sun y Rose, 2003;

Tabla 5. Características operativas de SM

ASPECTOS DE SM	
INFORMACION DE ENTRADA PARA SM	
INFORMACION	TIPO DE INFORMACIÓN
MODELO DE DATOS	Relacionales
	XML
	RDF
	OWL
DATOS DE LOS MODELOS	Esquemas(Etiquetas, estructura interna, tipos de atributos, relaciones)
	Instancias
	Esquemas e instancias
PROCESO DE CORRESPONDENCIA	
TIPO DE PROCESAMIENTO	Intrínseco
	Semántico
	Externo
RESULTADOS	
JUICIO DE CORRESPONDENCIA	Gradual
	Conjuntual: Equivalencia ($=$), Incompatibilidad ($\perp$),
	Subsunción ($\subseteq$)
	A nivel de instancias
	A nivel de esquema

Euzenat y Shvaiko, 2013). Según estas investigaciones, para realizar el proceso de SM existen diversos enfoques expuestos en la Figura 9 según las características de la información de entrada (nivel inferior), proceso (nivel intermedio) y salida (nivel superior).

Course Resources- Dublin Core		Learning Objects resource-LOM
audience	↔	Context
coverage	↔	Coverage
date	↔	Date
Description	↔	Description
Format	↔	Format
Language	↔	Language
relation	↔	Relation
Subject	↔	Location
title	↔	Keywords
url	↔	Title

Figura 8. Ejemplo de esquema de correspondencia RDB-OA

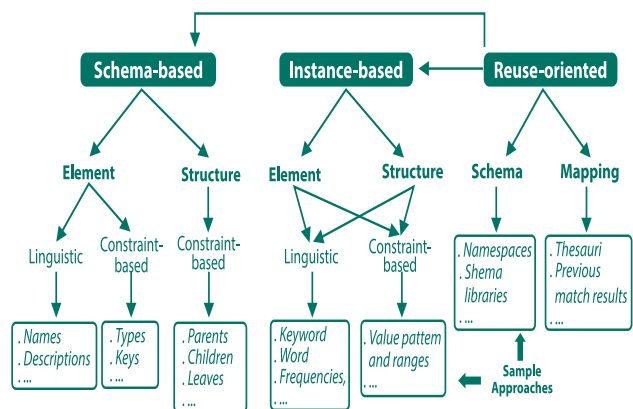


Figura 9. Enfoques de Scheme Matching
Fuente. (Do, 2006).

En consecuencia de lo anterior, la aplicación de las estrategias se comenzó con la lectura de los esquemas base e instancias de la información a corresponder. Según la caracterización descrita en e-learning, estos esquemas de información son los modelos de representación RDB o XML que han sido transformados a OWL. Estos esquemas OWL de entrada en el modelo son denotadas como OWL_A , OWL_B y en conjunto con la estrategia E, definieron la configuración de correspondencia adecuada, que deberá ejecutar dos subprocesos de SM a mencionar: i) Establecer correspondencias entre estructuras garantizando la consideración semántica implícita en las plataformas y recursos, eso permitiría establecer el vocabulario común y compartido entre los dos modelos por una ontología de dominio específica y ii) establecer correspondencia de sus elementos en base a las instancias de las estructuras correspondidas. Esta estrategia de correspondencia en el MIS se presenta en la Figura 10. Cabe anotar que la estrategia se formuló como un sistema flexible a diversas alternativas de correspondencia.

Alternativas de enfoque de correspondencia basado en esquemas

La selección de enfoques de correspondencia basada en esquemas garantizará después de este proceso, que la estructura de información objetivo corresponde al esquema fuente. El enfoque de *SM basado en esquemas* tiene como insumo los esquemas nativos transformados en OWL y su objetivo es corresponder estructuras parciales o totales entre esquema de información de e-learning. Ejemplos de vistas parciales de correspondencia de esquemas en e-learning se muestran entre OA Dublin Core y OA LOM en la Figura 11.

En la Tabla 6 se relacionan los enfoques para establecer la correspondencia a nivel de estructuras en e-learning según

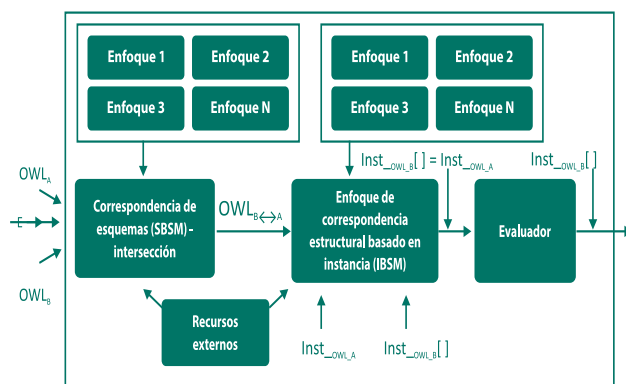


Figura 10. Estrategia de correspondencia - Mapeador Ontológico

Resources-Dublin Core	Course Resources-Dublin Core-Instances	LOM	Learning Objects resource-Instances
Audience	Formación profesional administración de sistemas	Context	Formación profesional sistemas
Coverage	Modelado de Software UML	Coverage	Modelado de Software UML, 2014, Colombia
Date	24 October 2013	Date	15 Junio 2014
Descripción	El contenido, es sobre modelo de software usando UML para diseñar diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagrama de procesos, etc.	Descripción	El contenido, trata sobre como modelar software usando UML para construir diagramas de casos de uso, diagramas de clases, etc.
Format	DC	Format	SCORM2004
Language	Es	Language	Es
Relation	Is Part Of	Relation	Modulo: 2, Seccion2, Actividad 1.
Subject	UML	Location	C:/172.168.1.4/Moodle/repositories/OA/uml.zip
Title	UML, MODELADO DE SOFTWARE USANDO UML	Keywords	UML, MODELADO DE SOFTWARE
url	C:/172.168.1.20/Moodle/repositories/Material/uml.zip	Title	Modelado en UML

Figura 12. Ejemplo de correspondencia de instancias de OA Dublin core- OA LOM

Course Resources-Dublin Core	Learning Objects resource-LOM
audience	Context
coverage	Coverage
date	Date
Descripción	Descripción
Format	Format
Language	Language
relation	Relation
Subject	Location
title	Keywords
url	Title

Figura 11. Ejemplo de esquema de correspondencia OA Dublin Core- OA LOM

Resources-Dublin Core	Course Resources - Dublin Core-Instances	LOM	Learning Objects resource-Instances
Audience	Formación profesional administración de sistemas	Context	Formación Telecomunicaciones
Coverage	Modelado de Software UML	Coverage	Antenas
Date	24 October 2013	Date	15 Junio 2014
Descripción	El contenido, es sobre modelo de software usando UML para diseñar diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagrama de procesos, etc. Además de la teorización sobre el lenguaje UML de modelado	Descripción	El contenido, trata sobre los fundamentos técnicos de las antenas para señales de microondas.
Format	DC	Format	SCORM2004
Language	Es	Language	Es
Relation	Is Part Of	Relation	Modulo: 3, Seccion1, Actividad 1.
Subject	UML	Location	C:/172.168.1.4/Moodle/repositories/OAT/uml.zip
Title	UML, MODELADO DE SOFTWARE USANDO UML	Keywords	Antenas, telecomunicaciones, microondas.
url	C:/172.168.1.20/Moodle/repositories/Material/uml.zip	Title	Antenas para Microondas

Figura 13: Ejemplo de esquema de correspondencia de instancias de OA Dublin core- OA LOM

el tipo de información, datos, enfoque de procesamiento, proceso y algunos referentes teóricos y algorítmicos que se pueden integrar al modelo de interoperabilidad MIS. Esta propuesta, recomienda se usen varios enfoques de forma que complementen los resultados, dando prioridad a la correspondencia de enfoque de procesamiento semántico basado en ontologías de dominio.

Alternativas de enfoque de correspondencia basado en instancias

Una vez se determinen dos estructuras de datos como equivalentes puede suceder que estas sean o no equivalentes en sus instancias. En la Figura 12 se presenta la correspondencia de dos objetos de aprendizaje bajo la especificación LOM y DublinCore. En la Figura 13, se presenta el caso de correspondencia nula entre dos objetos de aprendizaje DC y LOM.

Los enfoques como solución a la correspondencia de instancias consideran como información de entrada los nombres de columnas, filas, atributos de esquemas de XML y RDBS etc. Los enfoques aplicables de correspondencia

de instancias son también los de correspondencia basados en esquema como los lingüísticos-semántico, lingüístico-sintáctico, etc. No obstante, existen enfoques de correspondencia a nivel de instancias. Estos enfoques se basan sobre los resultados de los análisis textuales de las instancias de los elementos en el esquema. A menudo se aplican métodos estadísticos para hacer la evaluación jerárquica en relación a una ontología o dominio de aplicación. A partir de esta evaluación se obtienen palabras claves, sobre las cuales se aplican medidas de repetición, cercanía, etc. Algunos referentes teóricos y algorítmicos se detallan en la Tabla 7.

Ontologías de Dominio y de alto nivel

Según los enfoques discutidos en las secciones anteriores, los mecanismos de interoperabilidad planteados hacen uso de ontologías de dominio con el propósito de garantizar un vocabulario común y compartido. Hoy en día existen variadas ontologías de dominio en variados contextos de las ciencias de la computación. Una ontología de dominio específica en e-learning, se describe en (Santos

Tabla 6. Enfoques de solución correspondencia a nivel de estructura.

Enfoque de algoritmos de SM para correspondencia a Nivel de Estructura y elementos				
Tipo de información.	Tipo de dato	Enfoque de Procesamiento	SM basados en :	Algoritmos y/o referente teórico
Terminológica	Cadenas	Lingüístico - Sintáctico	Basado en cadenas	(Madhavan, Bernstein, Doan, y Halevy, 2005),(Madhavan, Bernstein, y Rahm, 2001),(Bilke y Naumann, 2005)
Terminológica	Objetos lingüísticos: Interpretación de cadenas	Lingüístico -Semántico.	Basado en lenguajes	(Giunchiglia, Yatskevich, y Giunchiglia, 2005), (Clifton, Housman, y Rosenthal, 1998)
Terminológica	Objetos lingüísticos: Interpretación de cadenas	External-lingüístico - Semántico	Recursos Lingüísticos	(«SMATCH», s. f.), (Giunchiglia, Yatskevich, y Shvaiko, 2007), (Agrawal y Agrawal, 2014)
Estructural	Estructura de entidades, atributos, tipos de datos, etc.	Sintáctico - Sintáctico	Basados en restricciones de esquemas	(Bravo y Suarez, 2013),(Batini, Lenzerini, y Navathe, 1986),(Rodrigues <i>et al.</i> , 2006).
Estructural	Metadatos y relaciones de entidades	Externo - Sintáctico	Reuso de SM	<COMMA>. (Do y Rahm, 2002),(Sun y Rose, 2003)
Semántica	Modelos estructurales	Externo - Semántico	Ontologías de alto nivel y ontologías de dominio	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2006)

Tabla 7. Enfoque a nivel de instancias de esquemas.

Enfoque de algoritmos de SM para correspondencia a nivel de instancias de esquemas				
Tipo de información.	Tipo de dato	Enfoque de Procesamiento	Enfoque algorítmico	Referente teórico y algorítmico
Semántica	Instancias de los elementos	Semántico-Externo	Ontologías, tesauros, restricciones de esquemas	(Ming Che Lee, Tsai, y Hsieh, 2011b), (Doan, Madhavan, Domingos, y Halevy, 2002)
Semántica	Instancias de estructuras	Semántico-Externo	Ontologías, tesauros, restricciones de esquemas	(Qian, Li, Song, y Yue, 2009),(Wang, Wen, Lochovsky, y Ma, 2004)

et al., 2007). Otras ontologías de alto nivel también pueden ser utilizadas. Según estudios comparativos entre varias ontologías, se evidencia a DOLCE (Mascardi *et al.*, 2007) como ontología de alto nivel con dominio aplicable a e-learning.

Capa de Presentación

En este nivel se encuentran los componentes que soportan la interfaz del modelo:

• Interfaz de Gestión

Ofrece los métodos y funciones para acceder a los

componentes del modelo. Puede soportar búsquedas de clientes LMS, que a su vez soportarán a los usuarios. Desde esta interfaz, a través del componente de Gestión de la información se ofrecen los métodos de acceso a las instancias de las bases de datos relacionales y ROA. Para ello previamente debe existir un acuerdo de interoperabilidad que permita la integración al modelo para compartir sus recursos educativos. Los elementos de entrada a la interfaz, para interactuar con el modelo son esquemas de datos (según modelos de información), con el direccionamiento de búsqueda hacia los esquemas de destino. Los esquemas de datos, deben describir los parámetros conforme a la reglamentación de esquemas de objetos de aprendizaje u ontologías. En los elementos de salida de la interfaz, los

usuarios se soportan en los componentes de *presentación insertos en las plataformas*; que toman los modelos de información de los elementos recuperados y los usan como insumo para el despliegue de los contenidos.

• Modelos de información

Proporcionan posibles esquemas de búsqueda para interactuar desde la capa de presentación en la capa de lógica de negocio. Las plantillas permiten transformar la información de entrada y salida de las funciones del modelo, a datos apropiados para el usuario y el mapeador ontológico. Del usuario se reciben instancias de los elementos y esquemas con los cuales se va a inter-operar para realizar la correspondencia con el mapeador ontológico (Rodrigues *et al.*, 2006). Al usuario se le entregan los modelos de datos con esquemas y atributos, para el acceso de los recursos correspondidos según instancias y mecanismos de despliegue en las plataformas.

Validación-Instancia del MIS

Para validar el modelo propuesto se revisaron las metodologías de evaluación cualitativas entre entrevista dirigida y grupo focal. Por las ventajas de grado de estructura, por la posibilidad de descubrimiento de información innovadora por expertos y por su utilidad general se seleccionó la metodología de grupo focal (Malhotra, 2004). Las etapas desarrolladas en el grupo focal fueron: i) la planeación del protocolo y preparación de los documentos, ii) La selección de los participantes, iii) la conducción de la sesión, iv) y el análisis de la información y reporte (Kontio *et al.*, 2008). En la preparación de sesión se generaron los materiales que fueron entregados previamente a la sesión. El material preparado se conformó por las fichas de los participantes, la propuesta resumida y extendida del MIS, el protocolo y orden del día, el formato de evaluación de los componentes y la encuesta de evaluación del MIS. En la selección de los participantes se tuvo en cuenta dos perfiles: i) profesionales adscritos a la academia y con conocimientos acerca de e-learning, ii) Profesionales con experiencia en e-learning y en investigación y desarrollo de software. Los participantes seleccionados se muestran en la Tabla 8.

En la fase de conducción de la sesión se realizó la

Tabla 8. Integrantes del Grupo Focal

Nombre	Participante	Institución
Mg. En Computación. Jimmy Andrés Campo Bravo	P1	Gerente Oderológica (Popayán)
Mg. En Computación. Carlos Alberto Ardila Albarracín	P2	Docente investigador universidad del Cauca
Ing. De Sistemas. Diego Fernando Bolaños	P3	Líder de tutores virtuales SENA- Centro Comercio y servicios. Integrador plataforma Blackboard.
Ing en Electrónica y Telecomunicaciones. Omar Albeiro Trejo Narvaez	P4	Tutor Virtual certificado por la OEA, Blackboard.

presentación del MIS entre LMS. En esta fase mediante una exposición ejecutiva, se describieron cada una de las capas y componentes del Modelo. Después, cada participante presentó sus aportes detallado con un enfoque crítico constructivo y por último, cada participante diligenció el Formato de evaluación de componentes y la encuesta de aspectos generales. De la evaluación de los componentes se obtuvo la valoración cuantitativa de la valoración cualitativa del MIS mostrada en la Tabla 9. En general se encontró que el MIS cumplía con la mayoría de las funciones para los cual fue diseñado.

Con la evaluación del MIS, por parte de los participantes se generaron: aspectos positivos, negativos y por mejorar y observaciones adicionales que llevaron al refinamiento del MIS presentado en la sección 4.

Diseño e implementación del servicio Web

Teniendo en cuenta el modelo propuesto y la validación por expertos en el grupo focal, se planteó la propuesta de un Servicio Web de Interoperabilidad Semántica – SIS, basado en Ontologías. El servicio se diseñó como una - de muchas instancias del modelo. El Diseño del servicio propuesto, consideró el uso de:

Tabla 9. Evaluación Focus Group del MIS

N°	ASPECTOS QUE SOLUCIONAN CON EL MIS	SE EL	OPCIONES SI	NO	N S / NR
1	Solución a problemas semánticos.		100%		
2	Reusabilidad de Objetos de Aprendizaje.		100%		
3	Búsquedas y recuperación efectiva de contenidos		100%		
4	Independencia de contenidos.		50%		50%
5	Heterogeneidad y autonomía de los LMS.		100%		
6	Integración semántica de las bases de datos de los LMS.		75%		25%
7	Integración semántica de los ROA		75%		25%
8	Formalización conceptual de los datos.		75%		25%
9	Mapeo ontológico de conceptos de los recursos de aprendizaje.		100%		
10	Métodos y funciones necesarias del modelo.		75%	25%	
11	Facilidad de implementación.		75%		25%

- Bases de datos relacionales.
- Repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Driver de Gestión de bases de datos ODBC.
- Driver de Gestión de Repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Especificaciones de e- learning: SCORM, IEEE LOM y CP.
- Transformadores Automáticos para la generación de Ontologías de aplicación.
- Ontologías de Aplicación y Dominio esenciales en el proceso de formalización.
- Mecanismos de correspondencia entre las distintas representaciones ontológicas.
- Clientes Web insertos en los LMS para gestión del Servicio Web.

Teniendo en cuenta lo anterior se planteó un

modelado del Servicio de Interoperabilidad Semántica basado en la arquitectura 4 +1 vistas. En este modelado se describe: i) los casos de uso del sistema, ii) el diagrama de clases, iii) el diagrama de secuencias, iv) la vista de proceso, v) y el diagrama de despliegue. A continuación se presenta la vista de despliegue de la arquitectura mencionada y la descripción de cada uno de los componentes en la Figura 14.

- LMS, representa un LMS cualquiera, que puede hacer uso del servicio para interoperar con otros LMS.
- SERVER_INTERFACE, representa la interfaz del servicio.
- LOM2OWL, su función es recibir los metadatos de OA, para luego transformarlos en un lenguaje de ontología web. Así mismo, cumple la función de gestión de ROA.
- RDBMSLOWLA, se encarga de transformar la información de representaciones de bases de datos relacionales a lenguaje de ontología web. Así mismo, cumple la función de gestión de RDB.
- SBSM, define la estrategia de correspondencia basada en esquemas.
- IBSM, define la correspondencia de las búsquedas basadas en instancias.
- RDB remoto, representa los modelos de bases de datos relacionales con los que interactúa el servicio.
- ROA remoto, representa los repositorios de objetos de aprendizaje remotos.

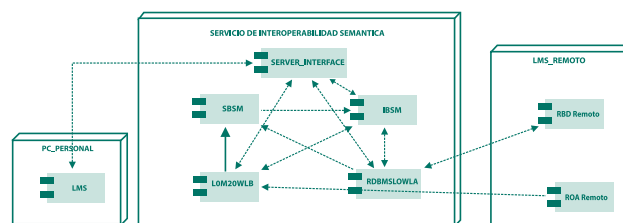


Figura 14. Diagrama de Distribución.

Implementación Servicio de Interoperabilidad Semántica

En la Figura 15, se muestra un escenario básico de interoperabilidad para la implementación del servicio propuesto, específicamente en lo relacionado con la interoperabilidad de OA; se consideró, la interoperabilidad

de dos LMS Moodle-Modle. Cada uno de estos LMS contiene OA dispuestos en un repositorio de archivos soportado con el protocolo FTP. Para la implementación de este escenario se utilizaron los algoritmos provistos por el API de COMMA y soportados en la Ontología de dominio DOLCE2.0-Lite-v3. En la correspondencia de instancias se utilizó WORNET modificado para realizar inferencias en diferentes dominios.

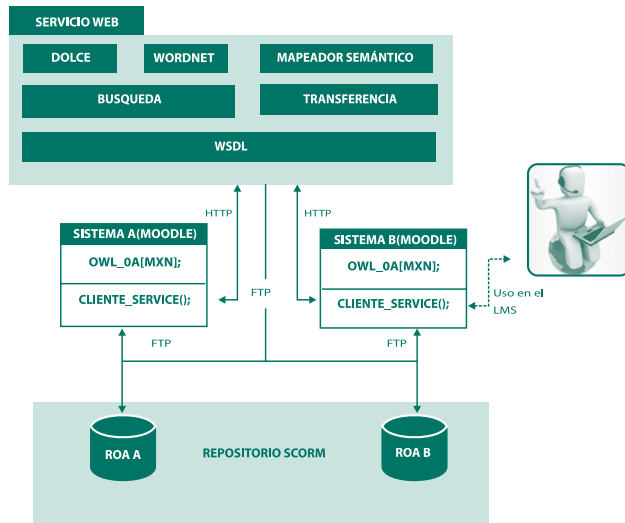


Figura 15. Escenario de interoperabilidad

En el prototipo, el usuario una vez logueado en la plataforma LMS, puede hacer uso del Servicio de Interoperabilidad Semántica SIS. Para lo cual, direcciona el servicio donde se enviarán los esquemas y las instancias de búsqueda. Posteriormente el usuario carga la interfaz donde ingresará los parámetros de búsqueda de la información de Objetos de aprendizaje, así mismo la dirección del repositorio FTP donde se almacenan los OA del LMS objetivo como se muestra en la Figura 16.

Al efectuar una búsqueda de los recursos en el LMS objetivo, se infieren los datos resultantes y se muestran al usuario los contenidos resultantes. Estos se presentan en orden jerárquico según las distancias semánticas entre los esquemas e instancias fuentes y objetivos. Los objetos de aprendizaje pueden ser visualizados, usando los métodos de las plataformas o recuperados en el equipo local tal como se muestra en la Figura 17.

Al visualizar lo recuperado, el usuario reusa el OA, disfrutando de la instrucción, recursos y enfoque pedagógico del mismo tal como se muestra en la Figura 18.

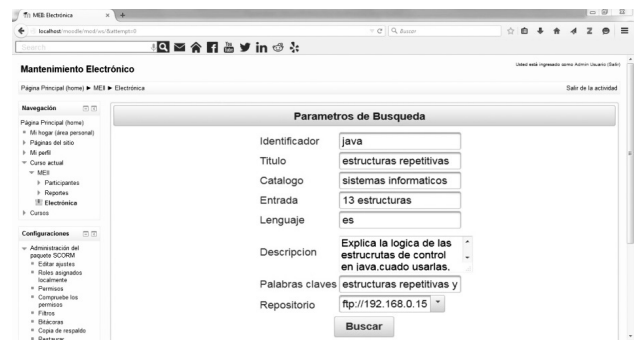


Figura 16. Caso de uso realizar búsqueda



Figura 17. Correspondencia de Búsqueda

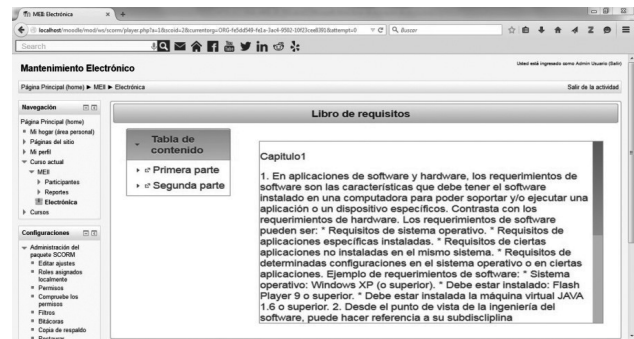


Figura 18. Visualizar Información

Conclusiones

En relación a las metodologías utilizadas en el trabajo fueron de fácil apropiación y aplicación, exceptuando las MID que por el rigor requerido hace que se dedique demasiado tiempo y sus artefactos resultantes son poco publicables. Por lo cual se recomienda buscar metodologías alternativas para abordar problemas similares.

En cuanto al trabajo en la caracterización, se encontró que en los Sistemas de Gestión de Aprendizaje LMS, los repositorios de contenido ya sean como RDB o ROA son propietarios de la plataforma, lo que causa que actualmente en la práctica no se encuentren evidencias resaltables del interoperabilidad semántica de contenidos. Esto es, debido a que los mecanismos de interoperabilidad propuestos hacen parte de nuevas líneas de investigación

y aún no se han extendido a la implementación masiva y generalizada en los LMS. Por otra parte, se encontró que los LMS en su mayoría cuentan con los mecanismos de interoperabilidad técnica y sintáctica a través de protocolos base y especificaciones. Sin embargo, dado que esto no es suficiente para resolver las necesidades de aprendizaje, coordinadamente las investigaciones avanzan hacia el intercambio de información en niveles superiores usando repositorios semánticos, interoperabilidad semántica entre RDB, marco de trabajo basados en ontologías, arquitecturas SOA, etc. Todos estos mecanismos pretenden (i) mejorar la calidad y variedad de recursos educativos disponibles en el mercado, (ii) conservar los recursos invertidos en tecnología y desarrollo de recursos educativos a través de su reuso y (iii) garantizar la transparencia de uso de recursos independiente de las plataformas hardware y software. Sin embargo, en la investigación realizada en este estudio, no se encontró, ni abordó la medición de estos factores entre diferentes LMS pertenecientes a diversas comunidades educativas que permitan calificar el impacto comparativo entre todos los enfoques.

De otra parte en cuanto a la propuesta del modelo entre las ventajas consideradas, se resalta su estructuración por capas y componentes para facilitar la implementación de servicios y mecanismos para el intercambio de contenidos entre LMS. De la misma manera, otra de las ventajas son los componentes de formalización conceptual propuestos para la unificación de los formatos de los materiales con naturaleza semántica de los datos que en conjunto con la estrategia combinada de SM orientada a esquemas e instancias le brinda una vista clara y sencilla de guía de desarrollo de software. Como desventajas del modelo se identificó la dependencia del modelo con contenidos WEB por los niveles de formalización incluidos y tipos de datos considerados. En el mismo sentido, se detectó que gran parte de las funcionalidades de formalización, transformación y correspondencia dependen de las tipologías de las bases de datos de los LMS actuales cuya naturaleza por ahora es relacional y limitada para un número de usuarios. En el caso que en el futuro, evolucionen a sistemas no relacionales gran parte de las funciones del MIS podrían quedar obsoletas.

En relación a la evaluación del modelo, se recomienda usar la estrategia de grupo focal en casos similares no solamente para avalar propuestas si no para fortalecerlas de manera ágil y efectiva.

Finalmente, como trabajos futuro adicionales se está trabajando en pruebas y escenarios para la integración de RDB en el MIS y otros enfoques de aplicación e

implementación del modelo en diferentes instituciones educativas para mejorar los contenidos y optimizar los recursos económicos.

Referencias

- AICC. (2014). *Aviation Industry CBT Committee*. Recuperado de <http://www.aicc.org/joomla/dev/>
- Al-Khalifa, H. S., and Davis, H. C. (2006). The evolution of metadata from standards to semantics in e-learning applications. En *Proceedings of the seventeenth conference on Hypertext and hypermedia* (pp. 69–72). ACM. Recuperado a partir de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1149956>
- Alvarez G. Luis A, Espinoza, Daniela, y Bucarey, Sandra. (2006). *Empaquetamiento y Visualización de Objetos de Aprendizaje SCORM en LMSs de Código Abierto*. Taller Internacional de Software Educativo TISE'05 pp 58-63. Recuperado de <http://www.gita.cl/index.php/publicaciones>.
- Alvarez G, Paule R y Gutierrez M. (2009, febrero). *presente y futuro del desarrollo de plataformas web de e-learning en educación superior*. Recuperado de http://www.web.upsa.es/spdece08/contribuciones/118_SPEDECE08Revisado.pdf.
- Arch-int, N., and Arch-int, S. (2013). Semantic Ontology Mapping for Interoperability of Learning Resource Systems using a rule-based reasoning approach. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7428-7443. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.027>
- ASSEC. (2008). *Conversor de formatos de OA*. Recuperado 9 de noviembre de 2014, a partir de <http://aspect.eun.org/node/121>
- ATutor LMS. (2014). *Atutor Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.atutor.ca/>
- Barrueco, J. M. and Coll, I. S. (2003). Open archives initiative. Protocol for metadata harvesting (OAI-PMH): descripción, funciones y aplicaciones de un protocolo. *El profesional de la información*, 12(2), 99–106.

- Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific american*, 284(5), 28–37.
- Blackboard. (2015). *Blackboard Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://anz.blackboard.com/sites/international/globalmaster/>
- Bodington. (2013). *Bodington Website*. Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://sourceforge.net/projects/bodington/>
- Box, D., Ehnebuske, D., Kakivaya, G., Layman, A., Mendelsohn, N., Nielsen, H. F., Winer, D. (2000). *Simple object access protocol (SOAP) 1.1*. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/profile/Satish_Thatte/publication/239553871_Simple_Object_Access_Protocol_\(SOAP\)_1.1/links/54489e4e0cf2f14fb8142a59.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Satish_Thatte/publication/239553871_Simple_Object_Access_Protocol_(SOAP)_1.1/links/54489e4e0cf2f14fb8142a59.pdf).
- Bravo, C., and Suarez, C. (2013, julio). *Transformación de Esquemas de Bases de Datos Relacionales al Lenguaje de Ontologías Web*.
- Bueno-de-la-Fuente, G. (2008). *Análisis de la interoperabilidad entre los sistemas de apoyo a la formación de TecMinho* (report). Recuperado de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9089>
- CAMPUS PROJECT. (2013). *Projecte campus*. Recuperado de <http://www.campusproject.org/en/espaitreball.php>
- Charles W. Bailey, J. (2008, septiembre). DigitalKoans. Recuperado 7 de agosto de 2014, a partir de <http://digital-scholarship.org/digitalkoans/2008/09/08/interoperability-a-key-concept-for-large-scale-persistent-digital-libraries/>
- Choi, J. W., & Kim, M. H. (2012). Generating OWL Ontology from Relational Database. En *2012 Third FTRA International Conference on Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing (MUSIC)* (pp. 53-59). <http://doi.org/10.1109/MUSIC.2012.17>
- Consortium Claroline. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.claroline.net/>
- Cuéllar, M. P., Delgado, M., and Pegalajar, M. C. (2011a). A common framework for information sharing in e-learning management systems. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2260–2270.
- Doan, A., Madhavan, J., Domingos, P., & Halevy, A. (2002). Learning to map between ontologies on the semantic web. En *Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web* (pp. 662–673). ACM. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=511532>
- Do, H.-H. (2006). *Schema matching and mapping-based data integration*.
- Do, H.-H., & Rahm, E. (2002). COMA: a system for flexible combination of schema matching approaches. En *Proceedings of the 28th international conference on Very Large Data Bases* (pp. 610–621). VLDB Endowment. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1287422>
- Drupal. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://www.drupal.org/home>
- Enríquez V. L. (2004). LCMS Y OBJETOS DE APRENDIZAJE. *Revista Digital Universitaria*, Volumen 5 Número 10.
- Esteban-Gil, A., Fernández-Breis, J. T., Castellanos-Nieves, D., Valencia-García, R., and García-Sánchez, F. (2009). Semantic enrichment of SCORM metadata for efficient management of educative contents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 927-932. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.164>
- Euzenat, J., & Shvaiko, P. (2013). Classifications of ontology matching techniques. En *Ontology Matching* (pp. 73–84). Springer. Recuperado de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-38721-0_4
- Euzenat, J., Shvaiko, P., & others. (2007). *Ontology matching* (Vol. 18). Springer. Recuperado de <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-38721-0.pdf>
- Euzenat, J., Valtchev, P., (2004). Similarity-based ontology alignment in OWL-lite. En *ECAI* (Vol. 16, p. 333). Recuperado de <http://>

- books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rU_onmzozu0C&oi=fnd&pg=PA333&dq=ontology+aligment&ots=w6jsb-TaW7&sig=VSNhPi8mV40gsyHhyqPyV615wtY
- Facuando A. (2005). educación a distancia/virtual en colombia. Recuperado de <http://portales.puj.edu.co/didactica/PDF/Tecnologia/EducacionvirtualenColombia.pdf>
- Farhat, R., Jebali, B., and Jemni, M. (2015). Ontology based semantic metadata extraction system for learning objects. En G. Chen, V. Kumar, Kinshuk, R. Huang, and S. C. Kong (Eds.), *Emerging Issues in Smart Learning* (pp. 247-250). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44188-6_34
- Fontenla, J., Caeiro, M., & Llamas, M. (2010). CITA04 - A SOA Architecture to Improve the Tailorability and Extensibility of e-Learning Systems. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 8(2), 135-140. <http://doi.org/10.1109/TLA.2010.5514439>
- González, C., Blobel, B., and López, D. M. (2010). Ontology-based interoperability service for HL7 interfaces implementation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 155, 108-114.
- Gonzalez, M. A. C., Penalvo, F. J. G., Guerrero, M. J. C., & Forment, M. A. (2009a). Adapting LMS Architecture to the SOA: An Architectural Approach. En *Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services, 2009. ICIW '09* (pp. 322-327). IEEE.
- Goodchild, M. F. (1999). *Interoperating Geographic Information Systems*. Springer.
- Hardy Ryan Chingal Martínez, and Carlos Alberto Rivera Farinango. (2011). Estudio de Viabilidad Técnica para la Interoperabilidad de Servicios de E-Learning mediante Procesos Web, Caso de Estudio Universidad del Cauca.
- Hernández, E. (2003). *Estándares y especificaciones de e-learning: ordenando el desorden*. Universidad de Valencia España. Recuperado de <http://www.uv.es/ticape/docs/eduardo.pdf>
- Home | Sakai. (2014). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://www.sakaiproject.org/>
- IMS. (2014). IMS AF. Recuperado de <http://www.imsglobal.org/af/>
- IMS CP. (2014). Recuperado 21 de octubre de 2014, a partir de <http://www.imsglobal.org/content/packaging/>
- IMS GLC-RDCEO. (2010). Recuperado 21 de febrero de 2015, a partir de <http://www.imsglobal.org/competencies/>
- IMS LD. (2014). Recuperado 2 de noviembre de 2014, a partir de <http://www.imsglobal.org/learningdesign/>
- IMS QTI. (2014). Recuperado a partir de <http://www.imsglobal.org/question>
- J, V., R, F., A, F., & J.L, P. (2008). *entornos de aprendizaje virtual adaptativos e interoperables*. Asociacion colombiana de ingeniería. Recuperado de http://atreides.udg.edu/bcds/images/bcds/papers/pdf/entornos_de_aprendizaje_virtual_adaptativos_e_interoperables.pdf
- JXML2OWL Project. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2014, a partir de <http://jxml2owl.projects.semwebcentral.org/>
- Kontio, J., Bragge, J., and Lehtola, L. (2008). The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering. En F. Shull, J. Singer, and D. I. K. Sjøberg (Eds.), *Guide to Advanced Empirical Software Engineering* (pp. 93-116). Springer London. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84800-044-5_4
- Lee, M. C., Tsai, K. H., and Hsieh, T. C. (2011). A multi-strategy knowledge interoperability framework for heterogeneous learning objects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4945-4956.
- Lee, M.-C., Tsai, K.-H., Hsieh, T. C., Chiu, T. K., & Wang, T.-I. (2007). An Ontological Approach for Semantic Learning Objects Interoperability. En *Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*,

2007. *ICALT 2007* (pp. 222-226). <http://doi.org/10.1109/ICALT.2007.63>
- Levshin, D. V. (2009). Mapping Relational Databases to the Semantic Web with Original Meaning. En D. Karagiannis and Z. Jin (Eds.), *Knowledge Science, Engineering and Management* (pp. 5-16). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-10488-6_5
- Lluvia Morales, and Jesús Miguel García-Gorrosieta. (2010). LMS Plan: An Architecture to Integrate Adapted Learning Sequences with LMS's., 51, 189-196.
- LOM. (2002). Recuperado a partir de <http://ltsc.ieee.org/wg12/par1484-12-1.html>
- .LRN Home. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://dotlrn.org/>
- Lynch, C. A. (1991). The Z39.50 Information Retrieval Protocol: An Overview and Status Report. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 21(1), 58–70. <http://doi.org/10.1145/116030.116035>
- Malhotra, N. K. (2004). *Investigación de Mercados, Un enfoque aplicado*. Cuarta Edición. Editorial Pearson Educación. Recuperado a partir de <http://dro.deakin.edu.au/view/DU:30010285>
- Malik, H. W. (2009). Visual semantic web: ontology based E-learning Management system. *Blekinge Institute of Technology, Sweden*. Recuperado de [http://www.digitalamedier.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/d6ac07599708c7a0c125755b0032b1da/\\$file/Copy%20of%20Master-%20Thesis-hwma0711.pdf](http://www.digitalamedier.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/d6ac07599708c7a0c125755b0032b1da/$file/Copy%20of%20Master-%20Thesis-hwma0711.pdf)
- Martínez, H. R. C., & Farinango, C. A. R. (2011). *Estudio de Viabilidad Técnica para la Interoperabilidad de Servicios de E-Learning mediante Procesos Web, Caso de Estudio Universidad del Cauca*.
- Mascardi, V., Cordi, V., & Rosso, P. (2007). A Comparison of Upper Ontologies. En WOA (pp. 55–64). Recuperado a partir de <http://woa07.disi.unige.it/papers/mascardi.pdf>
- Mikic-Fonte, F. A., Burguillo-Rial, J. C., Llamas-Nistal, M., & Fernandez-Hermida, D. (2010). A BDI-based intelligent tutoring module for the e-learning platform INES. En *2010 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. T1J-1-T1J-6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/FIE.2010.5673365>
- Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <https://moodle.org/>
- Moquillaza Henríquez, S., Henríquez, S. D. M., Huerta, H. V., & Grados, L. A. G. (2014). Programación en N capas. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 7(2), 57 - 67.
- Morales, L., and García-Gorrosieta, J. M. (2010). LMS Plan: An Architecture to Integrate Adapted Learning Sequences with LMS's. *LMS Plan: An Architecture to Integrate Adapted Learning Sequences with LMS's.*, 51, 189-196.
- Munk, S. (2005). Interoperability in the Infosphere. Challenges, Problems, Solutions. Recuperado de <http://www.defenceandstrategy.eu/cs/archiv/rocnik-2005/1-2005/interoperability-in-the-infosphere-challenges-problems-solutions.html>
- Myroshnichenko, I., and Murphy, M. C. (2009). Mapping ER schemas to OWL ontologies. En *Semantic Computing, 2009. ICSC'09. IEEE International Conference on* (pp. 324–329). Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5298643
- Najjar, J., Duval, E., Ternier, S., & Neven, F. (2003). Towards Interoperable Learning Object Repositories: The Ariadne Experience. En *ICWI* (pp. 219–226). Recuperado de [http://gcc.uni-paderborn.de/www/WI/WI2/wi2_lit.nsf/d2f7ed56380ef2fdc125683100441206/d728d6d6ad9c125718400071ced/\\$FILE/TowardsInteroperable.pdf](http://gcc.uni-paderborn.de/www/WI/WI2/wi2_lit.nsf/d2f7ed56380ef2fdc125683100441206/d728d6d6ad9c125718400071ced/$FILE/TowardsInteroperable.pdf)
- Ochoa, X., Carrillo, G., & Cechinel, C. (2014). Use of a Semantic Learning Repository to Facilitate the Creation of Modern e-Learning Systems. En *Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction* (p. 92). ACM. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2662345>

- OKI. (2012). Projecte OKI. Recuperado r de <http://www.okiproject.org/>
- Pearson LearningStudio. (2015). Recuperado 24 de marzo de 2015, a partir de <http://www.pearsonlearningsolutions.com/pearson-learning-studio/>
- Qian, Y., Li, Y., Song, J., & Yue, L. (2009). Discovering Complex Semantic Matches between Database Schemas. En *Web Information Systems and Mining, 2009. WISM 2009. International Conference on* (pp. 756–760). IEEE. Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5368370
- Raju, P., & Ahmed, V. (2012). Enabling technologies for developing next-generation learning object repository for construction. *Automation in Construction*, 22, 247-257. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.008>
- Rodrigues, T., Rosa, P., & Cardoso, J. (2006). Mapping XML to Exiting OWL ontologies. En *International Conference WWW/Internet* (pp. 72–77). Citeseer.
- Sanchis, R. (2013, septiembre). *Análisis comparativo de LMS*. Politecnica de Valencia. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31932/Memoria.pdf?sequence=1>
- Santos, J. M., Anido, L., & Llamas, M. (2007). Capítulo 4 ELEARNING-ONT: Metodología y Sub-ontologías. *TICAI 2006*, 31.
- Santoso, H. A., Haw, S.-C., & Abdul-Mehdi, Z. T. (2011). Ontology extraction from relational database: Concept hierarchy as background knowledge. *Knowledge-Based Systems*, 24(3), 457–464.
- SCORM. (2012). SCORM. Recuperado a partir de <http://www.adlnet.gov/capabilities/scorm>
- Sequeda, J. F., Tirmizi, S. H., Corcho, O., & Miranker, D. P. (2011). Survey of directly mapping sql databases to the semantic web. *Knowledge Engineering Review*, 26(4), 445–486.
- Serrano, C. E. (2002). Modelo integral para el profesional en ingeniería. Recuperado 29 de octubre de 2014, a partir de <http://www.librosyeditores.com/tiendalemoine/ingenieria/1302-modelo-integral-para-el-profesional-en-ingenieria.html>
- Shvaiko, P., & Euzenat, J. (2005). A survey of schema-based matching approaches. En *Journal on Data Semantics IV* (pp. 146–171). Springer. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/11603412_5
- Sun, X. L., & Rose, E. (2003). Automated schema matching techniques: An exploratory study. Recuperado a partir de <http://mro.massey.ac.nz/handle/10179/4396>
- Thibault, J. (2011, mayo 20). Moodle News. Recuperado a partir de <http://www.moodlenews.com/2011/blackboard-usage-drops-6-moodle-grows-to-10-market-share-according-to-itc-survey/>
- Tolk, A. (2004). Composable Mission Spaces and M&S Repositories–Applicability of Open Standards. En *Spring Simulation Interoperability Workshop, Arlington (VA)*. Recuperado a partir de <ftp://ftp.cs.odu.edu/pub/ibl/colloquium/spr04/tolk04S-SIW-009.pdf>
- Torres, I. D., Luna, J. A. G., & Builes, J. A. J. (2013). Lyrebird: A Learning Object Repository Based on a Domain Taxonomy Model. En *Innovations and Advances in Computer, Information, Systems Sciences, and Engineering* (pp. 949–960). Springer. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-3535-8_79
- Vavliakis, K. N., Grollios, T. K., & Mitkas, P. A. (2013). RDOE – Publishing Relational Databases into the Semantic Web. *Journal of Systems and Software*, 86(1), 89-99. <http://doi.org/10.1016/j.jss.2012.07.018>
- Velez J, Fabregat R, Fernandez A, & Petro. J.L. (2008). entornos de aprendizaje virtual adaptativos e interoperables. Asociacion colombiana de ingeniería. Recuperado a partir de http://atreides.udg.edu/bcds/images/bcds/papers/pdf/entornos_de_aprendizaje_virtual_adaptativos_e_interoperables.pdf

- Wang, J., Wen, J.-R., Lochovsky, F., & Ma, W.-Y. (2004). Instance-based schema matching for web databases by domain-specific query probing. En *Proceedings of the Thirtieth international conference on Very large data bases-Volume 30* (pp. 408–419). VLDB Endowment. Recuperado a partir de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1316726>
- Web-Ontology Working Group. (2004). OWL Web Ontology Language Overview. Recuperado 9 de marzo de 2015, a partir de <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>



Ambidestreza organizacional y desempeño: el papel de las relaciones inter-organizacionales¹

Organizational ambidexterity and performance: the role of inter-organizational relationships

Recibido: 25-11-2014 Aceptado: 09-04-2015

Miguel Solís-Molina²
Miguel Hernandez-Espallardo³
Augusto Rodríguez-Orejuela⁴

Resumen

La capacidad de la empresa para desarrollar simultáneamente innovaciones que exploten sus conocimientos actuales, al mismo tiempo que exploran nuevas oportunidades que van más allá de su conocimiento presente, reconocida como ambidestreza organizacional, se muestra como una alternativa crucial para el logro de un desempeño sostenido y por encima del promedio de la industria. Sin embargo, esta no es una tarea fácil para ser desarrollada por la empresa en exclusiva, de modo que colaborar con otras organizaciones se plantea como un camino para lograrlo. El estudio del uso de las relaciones inter-organizacionales para la consecución de ambidestreza organizacional es un área de interés reciente, todavía carente de articulación sistemática. Por ello, se presenta una revisión de la literatura de ambidestreza organizacional con énfasis en la fuente externa que supone el establecimiento de relaciones inter-organizacionales, en contraste con las fuentes internas que se han abordado más ampliamente. En este sentido, se realizó una revisión de las revistas de mayor factor de impacto asociadas con los campos del management y el marketing que tratan temas de innovación. Se concluye que las relaciones inter-organizacionales pueden ser una fuente generadora de ambidestreza organizacional y tener un efecto sobre el desempeño de la firma en presencia de otras variables como la capacidad de absorción, el gobierno relacional y la capacidad de alianzas. Las implicaciones de los resultados están asociadas con aquellos factores que deben tenerse en cuenta para procurar acuerdos colaborativos de innovación más exitosos.

Palabras clave: ambidestreza organizacional; ambidestreza inter-organizational; relaciones inter-organizacionales; desempeño.

¹ Esta investigación cuenta con el apoyo financiero de los proyectos C.I. 8112 (Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle - Colombia), 0288-2013 (SENA Centro ASTIN- Colombia) y ECO2013-47969-P (Ministerio de Economía y Competitividad - España).

² Colombiano, Candidato a Doctor en Administración Universidad del Valle. Profesional 06 SENA Centro Nacional ASTIN. Integrante del Grupo de Investigación en Marketing de la Universidad del Valle (Colombia) y del Grupo de Investigación en Innovación, Gestión Tecnológica y del Conocimiento - INGETEC - ASTIN del SENA. masolis@misena.edu.co.

³ Español, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Sección Empresa. Profesor Titular de Universidad. Universidad de Murcia. migher@um.es.

⁴ Colombiano, Doctor en Ciencias de la Empresa. Profesor Titular. Universidad del Valle. augusto.3030@hotmail.com.

Abstract

Firm's capacity to innovate based upon exploitation of its knowledge, while it explores new opportunities beyond its current knowledge, is captured by the concept of organizational ambidexterity. This concept is seen as an alternative for firms to obtain a higher sustainable performance than industry average. However, this task is not easy to accomplish, and to collaborate with other organizations is seen as a path to achieve it. The study of inter-organizational relationships to explain organizational ambidexterity is a novel field in the literature. Thus, this research presents a review about organizational ambidexterity with special emphasis on external sources, in contrast to internal sources that had been studied extensively. Journals with higher impact factor that address innovation issues from a management and marketing perspective has been reviewed. The authors conclude that inter-organizational relationships could contribute with organizational ambidexterity, and also have an effect over firm's performance in the presence of absorptive capacity, relational governance and alliance capability. Results identify key factors for the success of inter-firms collaboration agreements for innovation.

Keywords: organizational ambidexterity; inter-organizational ambidexterity; inter-organizational relationships; performance.

Introducción

Estudios empíricos a nivel organizacional han reflejado una relación de la ambidestreza organizacional y el desempeño de la firma (Jansen *et al.*, 2006; Junni *et al.*, 2013). La mayoría de los estudios se han concentrado en investigar el fenómeno de la ambidestreza organizacional como la tensión entre explotación y exploración desde el interior de la empresa (Raisch y Birkinshaw, 2008). Sin embargo, de acuerdo a Raisch *et al.* (2009) las firmas pueden conseguirla a través del mercado (e.g., *outsourcing*) o por mecanismos híbridos (e.g., alianzas o relaciones inter-organizacionales). Este debate se ha visto representado en la literatura como una tensión entre lo interno (i.e., *make*) y lo externo (i.e., *buy or ally*) (Raisch *et al.*, 2009). En este caso, esta investigación se centra en la revisión de literatura de la ambidestreza organizacional y su efecto sobre el desempeño con particular atención a las relaciones inter-organizacionales.

Desde este punto de vista, la pregunta general de la investigación es ¿Qué papel juegan las relaciones inter-organizacionales en la consecución de la ambidestreza organizacional y sus efectos sobre el desempeño?

Esta pregunta merece ser respondida ya que hasta el momento el conocimiento sobre los factores que hacen posible que las relaciones inter-organizacionales contribuyan con la ambidestreza organizacional es aún materia de investigación. En esta línea, este estudio busca contribuir con ampliar el conocimiento sobre las variables en presencia de las cuales se puede combinar la explotación y la exploración de manera favorable para el desempeño en el ámbito de las relaciones inter-organizacionales. Por ello, este trabajo presenta una revisión de la literatura a partir de las revistas de mayor impacto en los campos del management y marketing sobre el tema de innovación abierta, como símil de la innovación en colaboración con otras organizaciones. Se identifican los principales estudios hasta la fecha, se analizan los principales hallazgos y se plantean temas de investigación en este campo.

Los resultados obtenidos apuntan a que las relaciones inter-organizacionales contribuyen con el desempeño de la firma en presencia de variables como la capacidad de absorción de la firma, el gobierno relacional y la capacidad de alianzas.

El artículo inicia con un epígrafe donde se definen los conceptos y enfoques principales de ambidestreza organizacional y la ambidestreza inter-organizacional con sus respectivas dimensiones. Posteriormente, se aborda la metodología utilizada para la revisión de literatura, se presentan los resultados haciendo alusión a las aportaciones más representativas, se plantea la discusión y conclusiones, y por último se proponen posibles campos de investigación.

Explotación, Exploración y Ambidestreza Organizacional

El concepto de ambidestreza organizacional parte con los planteamientos de March (1991), sobre explotación y exploración. De acuerdo a March (1991), la explotación incluye “refinamiento, producción, eficiencia, selección, implementación, ejecución” (p. 71). Por otra parte, la exploración está descrita por conceptos como “búsqueda, variación, toma de riesgos, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento, innovación”(p. 71).

En la literatura se ha identificado que existe un *trade-off* o conflicto entre explotación y exploración al interior de las firmas, lo que puede darse por la escasez de recursos para el desarrollo simultáneo de ambos tipos de actividades (March, 1991); y por la presencia de dinámicas organizacionales y tensiones de poder que según la cultura de cada empresa permiten que una estrategia se imponga sobre la otra y la obstaculice (Levinthal y March, 1993). Esto tiene como consecuencia que las firmas se especialicen en explotación o exploración, lo cual las expone a los riesgos del aprendizaje que Levinthal y March (1993) denominan la trampa del éxito o trampa de explotación, que hacen referencia a empresas que dejan de explorar por su éxito en explotación y con el tiempo se pueden volver obsoletas quedando fuera del mercado; y la trampa del fracaso o trampa de exploración, que hace alusión a empresas que exploran sin traducir sus resultados en desempeño y que las puede llevar a la bancarrota en el corto plazo.

En este ámbito, las empresas ambidestras son aquellas que logran resolver los *trade-offs* entre explotación y exploración, evitando de este modo los riesgos del aprendizaje.

La ambidestreza organizacional hace referencia “a las rutinas y procesos mediante los cuales las organizaciones movilizan, coordinan e integran conjuntamente esfuerzos de exploración y de explotación [...] entre unidades diferenciadas” (Jansen *et al.*, 2009, p. 799). En este sentido, la ambidestreza se ha utilizado para referirse a la combinación de manera exitosa de la explotación y la exploración. Empíricamente se hace alusión a una empresa ambidestra cuando tiene niveles altos de explotación y de exploración de manera simultánea (He y Wong, 2004). En la literatura puede encontrarse un compendio de definiciones acerca del concepto de ambidestreza organizacional en el trabajo de Papachroni *et al.*, (2014).

La ambidestreza organizacional ha emergido como un nuevo paradigma en la teoría organizacional para dar respuesta a la necesidad de las organizaciones de mantener un desempeño sostenido (Raisch *et al.*, 2009). En las últimas dos décadas, la investigación sobre la conceptualización, antecedentes, moderadores, resultados y tensiones de la ambidestreza organizacional ha sido abordada tanto teórica (e.g., Gupta *et al.*, 2006; O'Reilly III y Tushman, 2008, 2013; Raisch y Birkinshaw, 2008; Raisch *et al.*, 2009; Simsek *et al.*, 2009; Tushman y O'Reilly III, 1996) como empíricamente (e.g., Adler *et al.*, 1999; Andriopoulos y Lewis, 2009; Atuahene-Gima, 2005; He y Wong, 2004; Jansen *et al.*, 2009; Jansen *et al.*, 2006; Lubatkin *et al.*, 2006).

El contexto de ambidestreza se ha usado en distintos contextos. Por ejemplo, O'Reilly III y Tushman (2013) describen una ambidestreza contextual, secuencial y estructural. Sin embargo, solo la estructural hace mención al desarrollo simultáneo de un balance entre explotación y exploración, bien por medio de subunidades separadas o por el desarrollo de competencias, procesos y culturas asociadas con la explotación y la exploración (O'Reilly III y Tushman, 2008).

De otra parte, Simsek *et al.* (2009) proponen una tipología donde existen cuatro tipos de ambidestreza organizacional: armónica, cíclica, particional y recíproca. Cada una corresponde a las combinaciones de dos dimensiones: temporal y estructural. La dimensión temporal contempla que la ambidestreza puede ser secuencial o simultánea y la dimensión estructural que puede ser independiente -al interior de la misma unidad- o interdependiente -entre unidades de la misma organización o de otras organizaciones-. Para el caso de la ambidestreza organizacional simultánea entre unidades de diferentes organizaciones se hace referencia a la ambidestreza particional inter-organizacional.

Esta última clasificación contempla una extensión del concepto de ambidestreza organizacional al ámbito de las relaciones inter-organizacionales. Sin embargo, son pocos los estudios empíricos que han analizado a las relaciones inter-organizacionales como fuente generadora de ambidestreza organizacional (e.g., Kauppi, 2010) y en su mayoría su enfoque ha sido desde el interior de la firma hacia el ámbito externo y no desde las dimensiones de la relación inter-organizacional hacia la firma. Este planteamiento llevaría a pensar en un tipo de ambidestreza complementaria a la ambidestreza organizacional, pero que se diferencia de esta por incluir el valor añadido de las actividades de explotación y de exploración que se llevan a cabo de manera conjunta con otras organizaciones. A esta ambidestreza complementaria a la ambidestreza organizacional se le denomina ambidestreza inter-organizacional.

Ambidestreza Inter-organizacional

La ambidestreza inter-organizacional supone el desarrollo simultáneo de la explotación y la exploración apoyándose en relaciones inter-organizacionales (Kauppi, 2010). Parmigiani y Rivera-Santos (2011) en su meta-revisión de literatura sobre relaciones inter-organizacionales, introducen el concepto de co-explotación y co-exploración

para describir dos aspectos constitutivos de una relación inter-organizacional. La co-explotación es el acuerdo cooperativo voluntario para ejecutar el conocimiento, tareas, funciones o actividades, donde el énfasis es la utilización y expansión del conocimiento existente. Por otro lado, la co-exploración consiste en el acuerdo cooperativo voluntario para crear nuevo conocimiento, tareas, funciones o actividades.

A partir de este planteamiento de co-explotación y de co-exploración sería posible abordar la operacionalización de las relaciones inter-organizacionales en el marco de un tipo de ambidestreza inter-organizacional complementaria a la ambidestreza organizacional como medio para evitar los *trade-offs* que la explotación y exploración organizacional suponen (Levinthal y March, 1993). Por una parte, a través de las relaciones inter-organizacionales se puede ampliar la base de recursos para desarrollar actividades de explotación y exploración. Por otra parte, contando con portafolios separados de relaciones, unos enfocados en explotación y otros en exploración, lo que permitirá que una estrategia no se imponga sobre la otra. En tercer lugar, estableciendo relaciones con empresas exitosas en explotación y en exploración se minimizarán los riesgos de la trampa del éxito y/o la trampa del fracaso, ya que se pueden aprender mejores prácticas de otras organizaciones para evitar los efectos nocivos de la explotación y exploración (Kauppila, 2010).

Metodología

La investigación se inició con la identificación de las revistas asociadas con los temas de management, marketing e innovación abierta. Para ello, se consultó el *ISI Web of Knowledge database, Journal Citation Report Social Sciences Edition* 2010 (144 revistas) y 2013 (173 revistas). El estudio realizado por Vieira y Teixeira (2010), sirvió como apoyo para identificar las revistas de mayor impacto relativo en los campos del management y marketing. Asimismo, basados en Dahlander y Gann (2010) se identificaron las revistas utilizadas para publicar sobre temas de innovación abierta. En la Tabla 1 se presenta el listado de publicaciones consultadas.

Identificadas las revistas se realizaron búsquedas de artículos utilizando como palabras claves “*organizational ambidexterity*”, “*inter-organizational ambidexterity*”, “*co-exploitation*”, “*co-exploration*” y “*ambidextrous collaboration*”. Se identificaron 153 artículos que hacen alusión a la ambidestreza organizacional o de manera conjunta a sus dimensiones de explotación y exploración. De ellos,

35 la vinculan con el campo de las relaciones inter-organizacionales. Para cada artículo se realizó una revisión de referencias para identificar artículos previos que trataran temas de ambidestreza hasta ubicar a los primeros autores sobre el tema.

Resultados

Los resultados incluyen estudios teóricos; estudios empíricos sobre la relación ambidestreza-desempeño en el nivel organizacional y estudios empíricos sobre la relación ambidestreza-desempeño en el nivel inter-organizacional.

• Estudios Teóricos

En los estudios teóricos sobre ambidestreza organizacional se observa una evolución desde un enfoque puramente centrado en la firma hacia un enfoque que contempla la firma y su entorno; debido al entramado organizacional en el cual se encuentran insertadas las empresas, y que hace que cada vez más se deban tener en cuenta las relaciones inter-organizacionales que tienen una influencia sobre su desempeño. También es un reflejo de la focalización de las empresas en sus competencias centrales para el desarrollo de sus actividades de innovación, lo que las lleva a establecer relaciones inter-organizacionales para el manejo de las demás funciones empresariales que no se correspondan con su actividad principal y que puedan desarrollar a través de otras organizaciones.

En principio, el enfoque centrado en la firma está asociado a los planteamientos de Duncan (1976) quién sugirió el término de organización ambidiestra como una característica de la organización que logra combinar dos maneras de actuar ante situaciones que requieren en unos casos rigidez y en otros flexibilidad. Posteriormente, Tushman y O'Reilly III (1996) retoman el concepto y lo utilizan para describir aquellas empresas que logran mantenerse en el tiempo con rendimientos superiores al promedio de la industria, combinando actividades de innovación radical e incremental basándose en sus capacidades internas. A partir de Koza y Lewin (1998) se empieza a plantear que las alianzas también pueden contribuir con las actividades de explotación y de exploración de la firmas. Posteriormente, Raisch y Birkinshaw (2008) realizan una revisión consolidando los resultados obtenidos hasta la fecha sobre ambidestreza organizacional. Este esfuerzo se ve complementado con un trabajo en el que incluyen a las relaciones inter-organizacionales (Raisch *et al.*, 2009). En el caso de Simsek *et al.* (2009) plantean una tipología que permite evidenciar

Tabla 1. Revistas consultadas

Título de la revista	2010		2013	
	Clasificación	Factor de impacto	Clasificación	Factor de impacto
Management				
Academy of Management Review**	1	6,720	1	7,817
Journal of Supply Chain Management	2	5,853	11	3,717
Academy of Management Annals	3	5,440	2	7,333
Academy of Management Journal**	4	5,250	5	4,974
Journal of Operations Management	5	5,093	7	4,478
MIS Quarterly	6	5,041	4	5,405
Research in Organization Behavior	7	4,833	83	1,250
Organizational Research Methods	8	4,423	13	3,525
Journal of International Business Studies	9	4,184	12	3,594
Journal of Business Logistics	10	3,905	21	2,886
Journal of Management Studies	11	3,817	14	3,277
Organization Science*	12	3,800	9	3,807
Journal of Management	13	3,758	3	6,862
Administrative Science Quarterly**	14	3,684	34	2,394
Strategic Management Journal**	15	3,583	18	2,993
Technovation*	20	2,993	25	2,704
Strategic Organization	26	2,727	49	1,853
Research Policy*	34	2,508	27	2,598
Academy of Management Perspectives	37	2,470	23	2,826
Management Science	42	2,221	29	2,524
Journal of Product Innovation Management	44	2,079	74	1,379
Manufacturing & Service Operations Management	45	2,048	66	1,450
Long Range Planning	53	1,727	39	2,111
California Management Review	54	1,682	54	1,944
Journal of Applied Behavioral Science	57	1,682	92	1,088
R&D Management*	59	1,580	80	1,266
Human Resource Management	68	1,341	71	1,395
Research Technology Management*	102	0,754	124	0,745
Marketing				
Journal of Marketing Research***		3,800		2,660
Journal of Marketing***		3,770		3,819
Marketing Science***		1,724		2,208

* Revistas más utilizadas para publicar temas de innovación abierta (Dahlander y Gann, 2010)

**Revistas de mayor impacto relativo en el campo del management (Vieira y Teixeira, 2010)

***Revistas de mayor impacto relativo en el campo del marketing (Vieira y Teixeira, 2010)

Fuente: Los autores

el fenómeno de la ambidestreza organizacional en el ámbito interno y externo de la firma. Para estos autores, las firmas que se co-especializan en explotación y en exploración mediante unidades separadas, como es el caso de la consecución a través de relaciones inter-organizacionales, son más aptas para alcanzar desempeños superiores en las innovaciones tanto de explotación como de exploración.

Por su parte, Lavie *et al.* (2010) elaboran un marco de referencia para desarrollar la investigación sobre la ambidestreza en los ámbitos organizacional e inter-organizacional. Tratan los principales conceptos, enfoques y variables con las que se ha asociado el concepto. En cuanto al ámbito inter-organizacional sugieren yuxtaponer los contextos organizacional e inter-organizacional de la explotación y de la exploración. Posteriormente, Parmigiani y Rivera-Santos (2011) contribuyen con un marco teórico para abordar el estudio de las relaciones inter-organizacionales mediante las dimensiones de co-explotación y de co-exploración, permitiendo hacer compatible su interacción con las dimensiones de explotación y exploración de la firma.

La revisión de estudios teóricos culmina con el trabajo de O'Reilly III y Tushman (2013), que consiste en una sistematización de lo que ha sido el estudio del concepto de ambidestreza organizacional. Su propuesta es continuar con investigaciones que permitan ampliar los límites de la firma hacia formas organizacionales híbridas, es decir, basadas en relaciones inter-organizacionales.

• Estudios empíricos sobre la relación ambidestreza-desempeño en el nivel organizacional

En el uso de teorías y literatura para el estudio de la relación de ambidestreza y desempeño en el nivel organizacional predomina la Teoría de la organización asociada al diseño de estructuras organizacionales basadas en explotación y en exploración. Este enfoque es afín al concepto de ambidestreza estructural o simultánea. Asimismo, se hace uso de la Teoría de la contingencia que plantea que las organizaciones serán más efectivas si están diseñadas para cumplir la naturaleza de su tarea principal, sea esta de explotación o de exploración (Burns y Stalker, 1961).

Por otro lado, basado en un enfoque más comportamental, y entendiendo que son los directivos y las personas quienes toman las decisiones, realizan las tareas de explotación y de exploración, y generan las innovaciones derivadas de estas actividades, se han ido incorporado otras teorías asociadas con el liderazgo, el aprendizaje, los

procesos de grupo, mandos superiores e incentivos. Estas teorías obedecen a un enfoque intra-organizacional que busca desvelar en los diferentes niveles –directivo, equipos senior, mandos medios, individuos– que es lo que hace posible la ambidestreza en el nivel organizacional (Jansen *et al.*, 2008; Jansen *et al.*, 2012; Jansen *et al.*, 2009; Lubatkin *et al.*, 2006; Mom *et al.*, 2015). Además, se ha utilizado la Teoría de la gestión estratégica de recursos humanos para identificar prácticas que permitan a las personas desarrollar actividades de explotación y de exploración de manera simultánea, en un contexto que favorezca este propósito (Prieto y Pérez Santana, 2012).

Con respecto al desempeño, es evidente que uno de los temas con los que más se asocia a la ambidestreza organizacional tiene que ver con la innovación y, en especial, con la innovación tecnológica (He y Wong, 2004). En este sentido, la Teoría de la organización y el aprendizaje ha sido utilizada para explicar la ambidestreza a partir de sus dimensiones de explotación y de exploración, incorporando conceptos como la capacidad de aprendizaje de la firma (Lin *et al.*, 2012). Otro de los aspectos del desempeño a tratar tiene que ver con la literatura de Management estratégico. Desde este punto de vista, la ambidestreza organizacional permite a quien la detente contar con una ventaja competitiva sobre otras organizaciones. En este sentido, la Teoría de la firma basada en los recursos (Wernerfelt, 1984) con sus extensiones de la Firma basada en recursos y capacidades (Barney, 1991), y la Firma basada en el conocimiento (Grant, 1996; Kogut y Zander, 1992, 1996), contribuyen a explicar por qué las organizaciones ambidestras obtienen un desempeño sostenido y superior al promedio de la industria.

También se ha hecho uso de la Teoría del comportamiento de la firma (Cyert y March, 1963) para plantear que la explotación y la exploración son orientaciones que pueden traer un mejor desempeño (Uotila *et al.*, 2009). Asimismo, se incorporan teorías del marketing que plantean orientaciones de tipo estratégico hacia el consumidor o el competidor (Atuahene-Gima, 2005) y enfoques eclécticos que combinan teorías para explicar los efectos de la ambidestreza sobre el desempeño (Morgan y Berthon, 2008).

Los primeros estudios empíricos son estudios de caso (Adler *et al.*, 1999) que investigan la rigidez y flexibilidad de las empresas, retomando las primeras nociones planteadas por Duncan (1976). Posteriormente, son Gibson y Birkinshaw (2004), He y Wong (2004) y Venkatraman *et al.* (2007) quienes realizan las primeras comprobaciones empíricas del efecto de la ambidestreza organizacional

sobre el desempeño, desde los tres enfoques utilizados en la literatura, obteniendo como resultados un efecto positivo. Complementando estos hallazgos Atuahene-Gima (2005) encuentra, por un lado, un efecto positivo de la competencia de explotación sobre la innovación incremental, y por otro, de la competencia de exploración sobre la innovación radical, vinculando de esta manera las dimensiones de explotación y de exploración con el campo de la innovación. De aquí en adelante, los estudios sobre ambidestreza organizacional y desempeño analizan el efecto de aspectos internos y del entorno de las firmas.

Jansen *et al.* (2006) incorporan aspectos relacionados con el entorno. Por un lado, encuentran que los entornos de alta competencia moderan positivamente el efecto de la innovación de explotación sobre el desempeño financiero. Por otro lado, que los entornos con alta dinámica moderan en el efecto de la innovación de exploración sobre el desempeño.

Esta revisión en el ámbito organizacional termina con Junni *et al.* (2013) y su meta-análisis, que estudia el efecto de la ambidestreza sobre el desempeño. Este estudio consolida los resultados de los estudios empíricos realizados hasta la fecha, ofreciendo un panorama general sobre la magnitud de los efectos, el tipo de variables de desempeño, las unidades de análisis o los sectores donde se han realizado las investigaciones, entre otros aspectos. La conclusión principal es que la ambidestreza tiene un efecto positivo sobre el desempeño y que se deben abordar los contextos en los cuales la ambidestreza afecta el desempeño para determinar cuándo y cómo esto sucede. Las unidades de análisis que se han abordado principalmente en el ámbito organizacional han sido las firmas.

A manera de resumen se presentan los estudios empíricos más relevantes sobre la relación de ambidestreza y desempeño en el nivel organizacional (ver Tabla 2).

• Estudios Empíricos sobre la relación ambidestreza-desempeño en el nivel inter-organizacional

En cuanto a la utilización de teorías y literatura en el ámbito inter-organizacional se observa que la Teoría de la organización y el aprendizaje juega un rol principal para explicar la formación de alianzas, colaboraciones inter-organizacionales y diversos tipos de actividades de cooperación, entendiendo que acceder e internalizar el conocimiento de la otra parte es una de las principales motivaciones para establecer relaciones inter-organizacionales (Koza y Lewin, 1998). Esto conlleva

la posibilidad de realizar actividades de explotación y de exploración con recursos complementarios de otras organizaciones (Park *et al.*, 2002; Rothaermel, 2001; Rothaermel y Deeds, 2004).

La utilización de la explotación y de la exploración en el marco de las alianzas estratégicas fue propuesta por primera vez por Koza y Lewin (1998). A partir de entonces, autores como Rothaermel (2001), Rothaermel y Deeds (2004), Lavie y Rosenkopf (2006) y Lin *et al.* (2007) realizaron comprobaciones empíricas de las actividades de explotación y de exploración en el contexto de las relaciones inter-organizacionales, específicamente de las alianzas estratégicas.

Por su parte, Park *et al.* (2002) realizan un estudio sobre la formación de alianzas basada en los recursos internos. En este ámbito surgen temas que son abordados desde la Teoría de la dependencia basada en los recursos (Pfeffer y Salancik, 1978) y del Management estratégico. Sus resultados apuntan a que existe una relación positiva de cambios en el mercado y los recursos internos. Los autores encuentran una moderación positiva de los recursos de manufactura en el efecto de los cambios en el mercado sobre la formación de alianzas de exploración. Por otro lado, de los recursos tecnológicos en el efecto de los cambios en el mercado sobre la formación de alianzas de explotación. En cuanto a Rothaermel y Alexandre (2009) evidencian una relación de U invertida en el efecto de la mezcla de fuentes de tecnologías nuevas (exploración) y conocidas (explotación) sobre el desempeño. Las moderaciones principales se generan a causa de la capacidad de absorción, el tipo de entorno (dinámico o competitivo) y las características de las firmas (edad, tamaño, sector industrial). Ambos estudios evidencian el efecto de la mezcla de recursos internos y externos de explotación y de exploración sobre el desempeño.

En el caso de Lin *et al.* (2007) realizan una aplicación de la Teoría de la organización y el aprendizaje, pasando por la Teoría de la dependencia basada en los recursos en el ámbito de las alianzas estratégicas hasta incorporar aspectos de Teoría de redes. Los autores plantean el concepto de ambidestreza en la alianza como una medición indirecta de la mezcla de socios nuevos y actuales, y de sus características similares o diferentes. Sus resultados evidencian efectos positivos de la ambidestreza en la alianza sobre el desempeño en firmas grandes y para estrategias focalizadas de explotación o de exploración en firmas pequeñas (Lin *et al.*, 2007). No obstante, encuentran un efecto negativo de la ambidestreza en la alianza sobre el desempeño de la firma.

Tabla 2. Estudios empíricos sobre la relación de ambidestreza y desempeño de la firma a nivel organizacional.

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Adler <i>et al.</i> , 1999)	Organización. Contingencia.	Obtención de eficiencia y flexibilidad superior.	Flexibilidad y eficiencia.	Estudio de caso Planta NUMMI, sucursal de Toyota, 60 entrevistas.	Se plantea un desempeño superior combinando flexibilidad y eficiencia. La ambidestreza depende de las relaciones de confianza con los proveedores.
(He y Wong, 2004)	Organización y aprendizaje. Ciclo de vida tecnológico. Gestión de la innovación.	Tasa de crecimiento promedio de las ventas en los últimos tres años.	Ambidestreza: interacción de la estrategia de innovación de explotación y la estrategia de innovación de exploración. Mediadoras: Intensidad de innovación de producto. Intensidad de innovación de proceso.	Cuestionario a directivos de 216 empresas tecnológicamente innovadoras de Singapur y Malasia.	Relación positiva para la interacción de estrategias de innovación de explotación y exploración y crecimiento en las ventas.
(Atuahene-Gima, 2005)	Marketing. Firma basada en recursos.	(1) Competencia de explotación y competencia de exploración. (2) Desempeño de innovación incremental e innovación radical.	Orientación al cliente. Orientación al competidor. Mediadoras: Competencia de explotación. Competencia de exploración. Coordinación interfuncional de las orientaciones y los desempeños.	Cuestionario a 127 firmas de China.	Relación positiva de explotación e innovación incremental y de exploración e innovación radical. Relación negativa de explotación con innovación radical y de exploración con innovación incremental. Se sugiere enfoque alto-bajo de explotación y exploración más que alto-alto en contraste con la ambidestreza.
(Jansen <i>et al.</i> , 2006)	Organización y aprendizaje. Management estratégico.	Innovación de explotación. Innovación de exploración. Desempeño financiero.	Centralización de la toma de decisiones. Formalización. Conectividad. Dinamismo del entorno. Competitividad del entorno. Moderadoras: Entorno dinámico. Entorno competitivo.	Cuestionario en dos fases: 1) 462 unidades organizacionales y 2) 283 unidades de servicios.	La conectividad favorece tanto la explotación como la exploración propiciando la ambidestreza. Relación positiva de innovación de explotación y desempeño en entornos con alta dinámica, y de innovación de explotación y desempeño en entornos de alta competencia.
(Lubatkin <i>et al.</i> , 2006)	Procesos de grupo. Mandos superiores.	Percepción relativa del desempeño de la firma frente a competidores. Crecimiento de las ventas. Crecimiento de la cuota de mercado. ROE. ROA.	Orientación ambidiestra: índice combinado de explotación y exploración (suma). Integración comportamental de los altos directivos. Mediadora: orientación ambidiestra de la integración comportamental de altos directivos y el desempeño de la firma.	Cuestionario a directivos de 139 pequeñas y medianas industrias (i.e., SMEs) de los Estados Unidos.	Relación positiva de orientación ambidiestra y desempeño, y de integración comportamental y orientación ambidiestra en pequeñas y medianas empresas.
(Venkatraman <i>et al.</i> , 2007)	Organización. Management estratégico.	Crecimiento en ventas del sector de software.	Interacción de explotación y exploración (simultánea y secuencial). Moderadoras: edad de la firma. Dominancia en el mercado. Competición en mercados múltiples.	Longitudinal. Panel de datos con 1.005 empresas de software 1991-2001.	Relación positiva para ambidestreza secuencial y crecimiento en las ventas.

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Jansen <i>et al.</i> , 2008)	Organización. Liderazgo. Incentivos.	Ambidestreza organizacional: interacción de innovación de explotación e innovación de exploración.	Innovación de explotación. Innovación de exploración. Visión compartida. Integración social. Incentivos del equipo senior. Moderadora: liderazgo transformacional.	305 equipos senior y 89 directores ejecutivos de servicios financieros de Europa.	Relación positiva para visión compartida e incentivos y altos niveles de innovación de explotación y de exploración o ambidestreza organizacional.
(Schulze <i>et al.</i> , 2008)	Organización. Management estratégico.	Desempeño operativo y estratégico.	Ambidestreza estructural: interacción de partición estructural e integración estructural. Moderadora: orientación estratégica. Dinamismo del entorno. Intensidad competitiva.	Cuestionario a directivos de 284 empresas grandes y medianas de Alemania.	Relación positiva de ambidestreza y desempeño.
(Morgan y Berthon, 2008)	Marketing. Management estratégico. Innovación tecnológica. Organización y aprendizaje.	Percepción de desempeño en comparación con los competidores. Posición competitiva. Crecimiento en las ventas. Promedio de utilidades por consumidor. Desempeño global de la firma.	Orientación al mercado. Generación de aprendizaje. Ambidestreza: interacción de la estrategia de innovación de explotación y exploración.	Cuestionario a directivos de 160 empresas de biotecnología en el Reino Unido.	Relación positiva de la estrategia de innovación de explotación, de la estrategia de innovación de exploración y de la ambidestreza con el desempeño.
(Han y Celly, 2008)	Organización. Internacionalización. Innovación.	Percepción de desempeño de nuevos negocios internacionales. Rentabilidad. Crecimiento.	Ambidestreza estratégica: estrategias de innovación y estandarización.	Cuestionario a directivos de 70 nuevas empresas internacionales.	Relación positiva de desempeño y ambidestreza estratégica (innovación y estandarización).
(Jansen <i>et al.</i> , 2009)	Organización.	Ambidestreza.	Diferenciación estructural. Mediadora: mecanismos de integración. Conectividad. Interfaces interfuncionales. Integración social. Incentivos.	230 organizaciones de diferentes sectores industriales.	Mediación de integración social, interfaces interfuncionales y conectividad.
(Andriopoulos y Lewis, 2009)	Innovación. Organización y aprendizaje.	Objetivo estratégico. Orientación al consumidor. Motivaciones personales.	Énfasis en Utilidades vs. Descubrimientos. Acoplamiento Ajustado vs. Holgado. Disciplina vs. Pasión.	Estudio de caso comparativo de 5 firmas ambidiestras de la industria de diseño de producto. Entrevistas, revisión documental y observación.	Relación positiva de las firmas en términos de desempeño financiero y productos de última generación (cutting edge). Encuentran tres paradojas de actividades aparentemente opuestas que generan innovación y más que <i>trade-offs</i> sinergias.
(Uotila <i>et al.</i> , 2009)	Comportamiento de la firma.	Desempeño financiero: valor de mercado (Q de Tobin).	Ambidestreza: cantidad relativa de orientación de explotación y de orientación de exploración. Moderadora: intensidad de investigación. Desarrollo de la industria.	Análisis de contenido de noticias índice S&P 500. 1989- 2004 de 279 empresas.	Relación curvilínea "U" invertida de la orientación de exploración y el desempeño financiero.

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Prieto y Pérez Santana, 2012)	Gestión estratégica de los recursos humanos. Organización y Aprendizaje.	Clima social. Aprendizaje ambidiestro. Desempeño de la firma en crecimiento de ventas. Utilidades. Participación en el mercado. Inversiones. Satisfacción del consumidor y del empleado.	Prácticas de recursos humanos para el fortalecimiento de la habilidad, motivación y oportunidad. Mediadora: (1) clima social de prácticas y aprendizaje ambidiestro. (2) aprendizaje ambidiestro de clima social y desempeño.	Cuestionario a 198 firmas de la industria en España.	El alto compromiso de prácticas de recursos humanos favorece el clima social que a su vez facilita el aprendizaje ambidiestro y el desempeño.
(Jansen <i>et al.</i> , 2012)	Organización. Innovación.	Tasa de rentabilidad alcanzada sobre rentabilidad presupuestada en dos años consecutivos de la unidad de negocios.	Ambidestreza de la unidad de negocio: interacción de innovación de explotación y de exploración. Moderadora: diferenciación estructural. Centralización de la toma de decisiones. Generosidad de recursos. Interacción de recursos en el nivel organizacional.	Cuestionario y reportes de 285 jefes de unidad de 88 sucursales de una empresa financiera europea.	Moderación positiva de centralización decisiones, riqueza e interdependencia de recursos en el efecto de la ambidestreza sobre el desempeño.
(Lin <i>et al.</i> , 2012)	Recursos y capacidades de la firma.	Desempeño de los negocios.	Ambidestreza de la innovación: interacción de desempeño de la innovación incremental y de la innovación radical. Capacidad de aprendizaje. Mediadora: ambidestreza de la innovación de la relación de capacidad de aprendizaje y desempeño.	204 unidades de negocio.	Efecto positivo de la ambidestreza de la innovación sobre el desempeño de los negocios.
(Junni <i>et al.</i> , 2013)	Relación ambidestreza-desempeño.	Desempeño.	Ambidestreza organizacional.	Meta-análisis de estudios empíricos.	Efecto positivo de la ambidestreza sobre el desempeño.
(Mom <i>et al.</i> , 2015)	Recursos humanos.	Desempeño individual.	Ambidestreza del gerente. Experiencia. Incertidumbre. Contexto de trabajo.	Gerentes de firmas grandes.	La ambidestreza contribuye con el desempeño individual en contextos de mayor incertidumbre.

Fuente: Los autores.

En cuanto a Im y Rai (2008) abordan como unidad de análisis la relación inter-organizacional. Encuentran que compartir simultáneamente conocimientos de explotación y de exploración disminuye la variabilidad del desempeño de la relación. Estudios de caso como Dittrich y Duysters (2007) y Kauppila (2010) plantean estrategias de explotación y de exploración mediante relaciones inter-organizacionales como complemento a las actividades exclusivas de la firma, evidenciando la co-explotación y la co-exploración.

Kristal *et al.* (2010) utilizan un enfoque más ecléctico al hacer uso de la Teoría de las capacidades dinámicas, la Teoría de la firma basada en el conocimiento y la Ley

de requisito de variedad. Esta última plantea que una organización debe mantener un mínimo suficiente de diversidad en su interior para sobrevivir al minimizar los riesgos de volverse obsoleta (Menor *et al.*, 2001). En este sentido, Kristal *et al.* (2010) estudian la ambidestreza representada por prácticas simultáneas de explotación y de exploración en la cadena de suministro y su relación con las capacidades competitivas de las firmas. Sus resultados sugieren que existe una mediación total de las capacidades competitivas en el efecto positivo de la ambidestreza sobre el desempeño. Esto permite a las firmas obtener una mayor eficiencia a la vez que se buscan oportunidades de mejora, en el marco de relaciones con otras organizaciones (e.g., proveedores, distribuidores).

En cuanto a la Teoría de recursos y específicamente la Teoría de la firma basada en el conocimiento se utilizan para explicar la razón de ser de las relaciones inter-organizacionales y sus efectos sobre el desempeño. De acuerdo a Hernández-Espallardo *et al.* (2011), en el marco de las relaciones con distribuidores en presencia del aprendizaje inter-organizacional, la relación de innovaciones basadas en explotación y exploración en la organización es positiva posibilitando la realización de las dos actividades de manera simultánea. En caso contrario, cuanto no está presente el aprendizaje inter-organizacional, la relación de innovaciones basadas en explotación y exploración se torna negativa, dando muestra de *trade-off* entre ellas.

Otros enfoques abordan el aspecto del gobierno de la relación inter-organizacional, identificando el gobierno más efectivo para las actividades de explotación o de exploración (Zimmermann y Raisch, 2009). En esta misma línea, Blome *et al.* (2013) estudian las combinaciones de gobierno (relacional vs. contractual) más efectivas que de manera conjunta con la ambidestreza generen los mejores resultados. Para ello, los autores utilizan la Teoría de los costos de transacción para explicar los tipos de estructuras de gobierno. Un principio central de esta teoría plantea que una concordancia entre el tipo de estructura de gobierno elegida y las características de las transacciones lleva a obtener resultados más eficientes al reducir los costos de transacción (Williamson, 1985). De igual manera, utilizan la Teoría complementaria y la Teoría de intercambio relacional. La Teoría complementaria plantea que dos actividades son complementos cuando al realizar una se incrementan los beneficios de realizar la otra (Milgrom y Roberts, 1995). Por su parte, la Teoría del intercambio relacional asume que las rentas relacionales están basadas en normas como la reciprocidad o flexibilidad que, con el tiempo, mejoran el desempeño y se constituyen en salvaguardas que contribuyen a prolongar las relaciones y extender sus beneficios (Poppo y Zenger, 2002).

En cuanto al estudio del efecto del valor añadido de las relaciones inter-organizacionales sobre el desempeño, utilizando las dimensiones de co-explotación y de co-exploración, Kauppila (2015) encuentra que la co-explotación tiene un efecto positivo sobre el desempeño financiero en el corto plazo. Del mismo modo, que la co-exploración tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de la firma en el largo plazo. Sin embargo, Kauppila (2015) plantea que a pesar de existir el punto de vista que sugiere que la co-explotación y la co-exploración llevan a un mayor desempeño, cuando se persiguen ambas actividades al

mismo tiempo (Kauppila, 2010; Kristal *et al.*, 2010), los resultados apuntan a la perspectiva que plantea que realizar las dos actividades de manera simultánea llevan a un desempeño mediocre en ambas por los *trade-offs* que se presentan (i.e., competencia de recursos escasos). En este caso, Kauppila (2015) encontró que en línea con los resultados obtenidos por Lin *et al.* (2007), la colaboración inter-organizacional ambidiestra está negativamente relacionada con el crecimiento de la firma. Por ello, sugiere que futuros estudios deberían investigar las variables que moderan la relación de la colaboración inter-organizacional ambidiestra y los diferentes tipos de desempeño.

Con relación a Stettner y Lavie (2014) contemplan no solo un modo inter-organizacional sino que combinan y comparan la efectividad de modos externos como las alianzas y adquisiciones con modos internos para llevar a cabo actividades de explotación y exploración. Sus resultados relevan que explorar de manera externa por medio de adquisiciones o alianzas y explotar de manera interna favorece el desempeño de la firma. En el caso de Colombo *et al.* (2014) plantean que las alianzas híbridas sirven para combinar actividades de explotación y de exploración, y que estas favorecen un desempeño mayor cuando se trata de la obtención de resultados de innovación radical más que incremental.

En la Tabla 3 se presentan los estudios que se consideran más relevantes sobre ambidestreza en el ámbito inter-organizacional.

Discusión y conclusiones

La pregunta de investigación que motivó la presente investigación plantea determinar el rol que juegan las relaciones inter-organizacionales en la consecución de ambidestreza organizacional y sus efectos sobre el desempeño. Para ello, se llevó a cabo una revisión de literatura en las revistas de mayor impacto de los campos del management y marketing asociadas con el tema de innovación.

Producto de esta revisión se encuentra que predomina la Teoría de la organización y el aprendizaje, como la más utilizada para estudiar de manera conjunta los ámbitos organizacional e inter-organizacional de la ambidestreza. De forma similar, se utilizan la Teoría de recursos y capacidades y la Teoría de firma basada en el conocimiento. Estas teorías se usan para explicar que la combinación exitosa de actividades de explotación y de exploración requiere de recursos basados principalmente en conocimientos y de procesos de aprendizaje.

Tabla 3. Estudios empíricos sobre la relación de ambidestreza y desempeño de la firma a nivel inter-organizacional

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable Dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Rothaermel, 2001)	Innovación. Alianzas estratégicas. Emprendimiento.	Desarrollo de nuevos productos. Desempeño financiero de la firma ROE.	Explotación. Exploración.	889 alianzas estratégicas de 32 firmas farmacéuticas grandes y proveedores de biotecnología.	La focalización de firmas representativas de un sector en la explotación de activos complementarios de otras organizaciones les permite obtener un mejor desempeño que aquellas que se focalizan en explorar nuevas tecnologías.
(Park <i>et al.</i> , 2002)	Dependencia basada en los recursos. Comportamiento estratégico.	Ocurrencia absoluta y frecuencia de la formación de alianzas.	Recursos internos. Cambios en el mercado. Crecimiento en demanda. Alianzas de explotación. Alianzas de exploración. Moderadora: recursos tecnológicos y de manufactura.	174 firmas start-up con 471 alianzas estratégicas en 10 años.	Relación positiva de recursos internos y crecimiento en demanda. Moderación positiva de los recursos de manufactura en el efecto de cambios en el mercado sobre alianzas de exploración; y de recursos tecnológicos en el efecto de cambios en el mercado sobre alianzas de explotación.
(Rothaermel y Deeds, 2004)	Organización y aprendizaje. Alianzas estratégicas.	Productos en desarrollo. Productos en el mercado.	Alianzas de explotación. Alianzas de exploración. Moderadora: tamaño de la firma en el efecto de las alianzas de explotación sobre productos en el mercado.	325 firmas de la Industria de biotecnología.	Relación positiva de alianzas de exploración y productos en desarrollo, y de alianzas de explotación y productos en el mercado. Encuentran un efecto positivo de la ambidestreza secuencial sobre el desempeño.
(Lavie y Rosenkopf, 2006)	Organización y aprendizaje.	Función. Estructura. Atributo de exploración año uno.	Función. Estructura. Atributo de exploración año cero.	337 firmas de software en los Estados Unidos.	Relación positiva del balance de explotación y exploración en los dominios de función, estructura y atributos. Enfoque alternativo de ambidestreza en el que una alianza balanceada de explotación y exploración mejora el desempeño.
(Lin <i>et al.</i> , 2007)	Organización y aprendizaje. Alianzas estratégicas. Redes sociales. Dependencia basada en los recursos.	Desempeño de la firma: ventas netas sobre activos en un año.	Ambidestreza en la alianza (explotación y exploración). Total de socios de las alianzas. Moderadoras: tamaño de la firma. Incertidumbre del entorno. Centralidad de la firma. Aperturas estructurales en la red. Año de la alianza.	Medición empírica sector: 33 farmacéutico, 25 computadores, 25 comidas, 5 acero y 7 papel. Medición simulada: 25 a 75 nodos, volatilidad del entorno 0.003 y 0.04, 30 años de simulación.	Relación negativa de ambidestreza en la alianza y desempeño. Efectos positivos de la ambidestreza en la alianza sobre el desempeño en firmas grandes y para estrategias focalizadas de explotación o exploración en firmas pequeñas.
(Dittrich y Duysters, 2007)	Red. Alianzas tecnológicas estratégicas.	Facturación del socio. Número y tipo de composición de las alianzas equitativas y no equitativas.	Estrategias de explotación y exploración en redes de innovación.	Colaboradores de Nokia 1985-2002, entrevistas semiestructuradas, análisis cuantitativo de acuerdos de alianza.	Relación positiva para énfasis de explotación en las dos primeras generaciones, y de exploración en la tercera generación. La generación hace referencia a cada ciclo de colaboración.
(Im y Rai, 2008)	Organización y aprendizaje. Tecnología de la información. Objetos digitales de frontera.	Desempeño de la relación.	Ambidestreza: interacción de compartir conocimiento de explotación y compartir conocimiento de exploración. Ambidestreza contextual compromiso ontológico Moderadora: duración de la relación	76 relaciones de largo plazo desde la perspectiva del vendedor y del cliente.	Menor variabilidad del desempeño de la relación cuando se comparte conocimiento de explotación y de exploración de manera simultánea que cuando en la relación hay un énfasis en compartir más conocimiento de exploración. Asimismo, se obtiene un valor promedio superior del desempeño de la relación a partir de la ambidestreza.

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable Dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Zimmermann y Raisch, 2009)	Organización y aprendizaje. Gobierno relacional.	Estructuras de gobierno: autónoma e integrada. Procesos de explotación y exploración independientes o colectivos.	Relaciones inter-organizacionales verticales y horizontales	Cuatro proyectos cooperativos de desarrollo de nuevos productos. Dos proyectos de relaciones inter-organizacionales verticales y dos de relaciones horizontales.	Las relaciones inter-organizacionales verticales presentan estructuras de gobierno autónomas asociadas con procesos independientes de explotación y de exploración. Por otro lado, las relaciones inter-organizacionales horizontales evidencian estructuras de gobierno integradas asociadas con procesos colectivos de explotación y exploración.
(Rothaermel y Alexandre, 2009)	Organización y aprendizaje.	Rentabilidad financiera (ROE). Capacidad de innovación (patentes).	Ambidestreza: mezcla de fuentes tecnológicas nuevas y conocidas. Moderadora: capacidad de absorción.	Cuestionario a 141 jefes de gestión tecnológica de empresas de manufactura de Estados Unidos.	Relación "U" invertida de mezcla de fuentes de tecnologías nuevas y conocidas (ambidestreza) y desempeño. Moderación positiva de esta relación por parte de la capacidad de absorción.
(Kauppila, 2010)	Organización y estrategia. Contingencia.	Contexto organizacional ambidiestro.	Explotación y exploración mediante trabajo de red.	Estudio de caso en profundidad de una firma que ha creado ambidestreza a partir de relaciones de explotación y exploración inter-organizacionales	Importancia del contexto organizacional ambidiestro para aprovechar los beneficios de relaciones de explotación y exploración. Mecanismos de balance de explotación y exploración al interior de la organización.
(Kristal <i>et al.</i> , 2010)	Capacidades dinámicas. Firma basada en el conocimiento. Ley de requisito de variedad.	Desempeño del negocio: Participación en el mercado. Nivel de utilidades.	Estrategia cadena de suministro ambidiestra: prácticas de explotación y exploración. Mediadoras: Capacidades competitivas. Calidad. Velocidad de entrega. Flexibilidad de proceso. Bajo costo.	174 firmas manufactureras de los Estados Unidos.	Relación positiva de la estrategia de la cadena de suministro ambidiestra y las capacidades competitivas combinadas. Mediación total de las capacidades competitivas combinadas en la relación de la estrategia de la cadena de suministro ambidiestra y la participación en el mercado por un lado, y el nivel de utilidades por otro.
(Hernández-Espallardo <i>et al.</i> , 2011)	Firma basada en el conocimiento.	Desempeño de sistema abierto. Desempeño de objetivos racionales.	Conocimiento de aspectos relacionados con la relación inter-organizacional. Moderadora: Innovación de explotación. Innovación de exploración.	201 cuestionarios de empresas del sector de comida y bebidas.	El aprendizaje obtenido en la relación con los distribuidores permite desarrollar innovaciones basadas en explotación y exploración de manera simultánea. Relación positiva de las innovaciones basadas en explotación y el desempeño de sistema abierto. Relación positiva del desempeño racional y de sistema abierto y las innovaciones de exploración.
(Kauppila, 2015)	Firma basada en recursos.	Tasa de crecimiento en número de empleados. Desempeño financiero ROI.	Colaboración inter-organizacional ambidiestra: interacción de co-explotación y co-exploración. Capacidad de gestión de alianzas.	Cuestionario a 172 firmas SMEs del sector manufacturero.	Relación positiva de co-exploración y crecimiento del número de empleados en dos años. Relación positiva de co-explotación y desempeño financiero en un año. Relación negativa de la interacción de la co-explotación y co-exploración y la tasa de crecimiento de la firma.
(Blome <i>et al.</i> , 2013)	Complementaria. Costos de transacción. Intercambio relacional.	Desempeño: Reducción de costos. Innovación.	Gobierno ambidiestro: contractual y relacional. Moderadora: Ambidestreza organizacional.	97 parejas de cuestionarios de gerentes/vicepresidentes y los gerentes de compras.	Relación positiva de gobierno ambidiestro y desempeño. La ambidestreza organizacional modera la relación de gobierno ambidiestro e innovación.
(Stettner y Lavie, 2014)	Estrategia.	Valor de mercado del inversor ex ante.	Adquisición de exploración. Alianza de exploración. Exploración interna.	190 empresas de software de los EE. UU.	Explorar mediante modos externos como adquisiciones y alianzas mientras se hace explotación de manera interna favorece el desempeño de la firma.

Autores, año	Teorías/ Enfoques	Variable Dependiente	Variable Independiente, mediadora o moderadora	Metodología y muestra	Resultados
(Colombo <i>et al.</i> , 2014)	Innovación. Alianzas estratégicas.	Introducción de nuevos productos. Radicalidad.	Alianza de explotación. Alianza de exploración. Control: Modo de adquisición. Modo de alianza. Experiencia alianzas. Experiencia adquisiciones.	149 alianzas para <i>spin-offs</i> académicas.	El desempeño relativo de la explotación es mayor en alianzas híbridas (i.e., que combinan actividades exploración y explotación) cuando la alianza tiene resultados de innovación radical. En caso contrario, la exploración tiene un mayor desempeño relativo en alianzas híbridas cuando la alianza obtiene resultados de innovación incremental. La alianza híbrida representa el balance de explotación y exploración en relaciones inter-organizacionales.

Fuente: Los autores.

En cuanto a los estudios empíricos del efecto de la ambidestreza sobre el desempeño en el nivel organizacional, se observa que inicialmente estos estaban centrados bien en aspectos intra-organizacionales, bien en aspectos del entorno de la firma. Con el tiempo, se ha optado por incluir ambos aspectos simultáneamente, con el fin de tener un mejor entendimiento sobre esta relación y las condiciones que la afectan. Por su parte, en los estudios empíricos en el nivel inter-organizacional, se observa el paso de mediciones indirectas, utilizando estimaciones del concepto de ambidestreza en alianzas estratégicas, a mediciones más directas, mediante escalas en contextos como la cadena de suministro. De igual manera, se han vinculado a los estudios otras variables como la capacidad de absorción de la firma, la capacidad de alianzas y el tipo de gobierno de la relación.

Los resultados obtenidos apuntan a que las relaciones inter-organizacionales contribuyen con la ambidestreza organizacional mediante la incorporación de conocimientos nuevos para actividades de exploración y de recursos complementarios para actividades de explotación, ampliando de esta manera, la base de recursos de la organización. De este modo, se contribuye con resolver los *trade-offs* derivados de la escasez de recursos para desarrollar actividades de explotación y de exploración de manera simultánea, y por otro lado, de la especialización en explotación o exploración que puede llevar a las trampas del aprendizaje. En cuanto a los efectos sobre el desempeño aún hay aspectos por resolver. Se han encontrado tanto efectos positivos como negativos de la combinación simultánea de actividades de explotación y de exploración en relaciones inter-organizacionales. Sin embargo, las razones para ello están asociadas a la presencia o ausencia de otras variables.

De esta manera, teniendo en cuenta que las relaciones inter-organizacionales constituyen una fuente adicional de recursos basados en conocimientos de explotación

y de exploración, la co-explotación y la co-exploración representan un potencial de valor añadido a las actividades de explotación y de exploración propias de la empresa. En este sentido, la co-explotación y la co-exploración reflejan el aporte directo de la relación o portafolio de relaciones inter-organizacionales sobre el desempeño de la firma. Sin embargo, la literatura aún no ha terminado de explicar la manera en la cual estas dimensiones de la relación inter-organizacional afectan el desempeño. Por lo que aprovechar este potencial supone retos que requieren de la presencia de otros factores asociados al ámbito inter-organizacional. Entre ellos, se ha identificado el papel que juega la capacidad de absorción como condición mínima para que la firma pueda adquirir, asimilar y aplicar lo aprendido en una relación inter-organizacional y traducirlo en desempeño. Por ello, a nivel empírico se plantea que se deben incorporar variables que moderen el efecto de la co-explotación y la co-exploración sobre la ambidestreza y el desempeño como sería el caso de la capacidad de absorción de la firma. Por lo tanto, el uso de la capacidad de absorción en modelos que vinculen la ambidestreza con el desempeño permitirá realizar una primera aproximación al efecto que tienen las fuentes externas de conocimiento sobre las fuentes internas de la organización y evidenciar sus efectos sobre el desempeño.

Adicionalmente, como complemento al efecto de la capacidad de absorción, más asociada al ámbito organizacional, se plantea el uso de la capacidad de alianzas, más centrada en el ámbito inter-organizacional. La capacidad de alianzas se vislumbra como una extensión de la habilidad de la firma para combinar conocimientos de explotación y de exploración a nivel inter-organizacional. La incorporación de esta variable facilitará un mayor entendimiento de cómo las organizaciones trasladan lo que aprenden de una relación para aplicarlo a otras, generando mejoras en el desempeño y reducciones de los costos de transacción. De esta manera, se busca ampliar el

conocimiento de las contribuciones de las relaciones inter-organizacionales sobre el desempeño.

Otro aspecto a considerar, tiene que ver con el gobierno efectivo de la relación que permita que los procesos de intercambio de conocimientos y aprendizaje se den sin comprometer, en demasía, la integridad de las organizaciones que acceden a una relación. Para explicar esta situación, se ha hecho uso de la Teoría de los costos de transacción y de la Teoría de intercambio relacional, que evidencian los problemas de salvaguarda, evaluación del desempeño y adaptación que una relación supone y la manera más efectiva de gestionarlos. Lo que se espera de vincular el gobierno relacional como variable es que aporte un mayor entendimiento de los mecanismos o rutinas (formal o informal) para el control efectivo de la relación o relaciones que mejores desempeños generan.

Por lo tanto, contar con mejor entendimiento de la manera en que las relaciones inter-organizacionales contribuyen con el desempeño facilitará los procesos de integración de conocimiento de explotación y de exploración provenientes de fuentes externas, como valor añadido y complementario a las fuentes internas de la propia organización. Esta habilidad para combinar la explotación y la exploración ofrece una ventaja en términos de desempeño a aquellas empresas que mejor logren llevarla a cabo. Para finalizar, se plantea que las empresas que obtienen un desempeño sostenido en el largo plazo y superior en el corto plazo, como lo refleja la ambidestreza, realizan una gestión efectiva de fuentes híbridas que resultan de combinar fuentes internas y externas de explotación y de exploración como aquellas provenientes de las relaciones inter-organizacionales.

Futuras líneas de investigación

Basado en la presente revisión de literatura se han identificado futuros campos de investigación en aspectos teóricos y empíricos que vinculen los conceptos de ambidestreza organizacional y relaciones inter-organizacionales (ver Tabla 4).

En la Tabla 5 se presentan las implicaciones prácticas para las empresas que se podrían derivar de los estudios propuestos.

Tabla 4. Investigación ambidestreza y relaciones inter-organizacionales.

Efecto	Descripción	Estudios previos
Capacidad de absorción de la firma sobre la relación de ambidestreza organizacional y desempeño.	Primer nexo de unión del conocimiento interno con el externo que luego se ve más concretado en el marco específico de las relaciones inter-organizacionales. Contribuir con un mayor entendimiento de los mecanismos que moderan la relación de la ambidestreza organizacional y el desempeño, basados en la capacidad que tienen las organizaciones para adquirir, asimilar, combinar y aplicar el conocimiento externo provenientes de las relaciones inter-organizacionales con el conocimiento interno.	(Geyskens <i>et al.</i> , 2006; Hernández-Espallardo <i>et al.</i> , 2011; Jansen <i>et al.</i> , 2005; Jiménez-Barriónuevo <i>et al.</i> , 2011; Lichtenthaler, 2009; Rothaermel y Alexandre, 2009)
Ambidestreza organizacional sobre el desempeño de la firma a partir de la co-explotación y co-exploración.	Ampliar los hallazgos de la ambidestreza organizacional y el desempeño de la firma, al estudiar la mediación de la ambidestreza sobre las dimensiones de la relación inter-organizacional (co-explotación y co-exploración) y el desempeño de la firma.	(Kaupilla, 2010, 2013; Koza y Lewin, 1998; Lavie y Rosenkopf, 2006; Lin <i>et al.</i> , 2007; Parmigiani y Rivera-Santos, 2011; Quinn y Rohrbaugh, 1983; Rothaermel y Deeds, 2004)
Capacidad de alianzas de la firma sobre la co-explotación, co-exploración y ambidestreza	Comprobar empíricamente el rol moderador de la capacidad de alianzas en la relación de la co-explotación, co-exploración, ambidestreza organizacional y el desempeño.	(Stettner y Lavie, 2014; Biao y Yi-Ju, 2014)
Gobierno relacional sobre la co-explotación y co-exploración.	El análisis de la relación de gobierno relacional y las dimensiones de co-explotación y co-exploración contribuiría con la identificación de los mecanismos de gobierno más efectivos que permitan que las relaciones inter-organizacionales tengan un valor añadido sobre la ambidestreza organizacional y el desempeño de la firma.	(Blome <i>et al.</i> , 2013; Zimmermann y Raisch, 2009)

Fuente: Los autores.

Tabla 5. Implicaciones empresariales

Implicación	Descripción
El rol de la capacidad de absorción y de la capacidad de alianzas	Comprender por parte de los gerentes el rol que juega la capacidad de absorción y la capacidad de alianzas de la empresa les permitirá a las firmas estar mejor preparadas para capitalizar e incrementar sus beneficios producto de sus esfuerzos de innovación inter-organizacionales. Asimismo, llamar la atención acerca la capacidad de absorción y la gestión de las alianzas como factores estratégicos por los efectos positivos que puedan tener sobre el desempeño.
Las relaciones inter-organizacionales y su valor añadido en el desempeño.	Tener una mayor claridad de los factores que afectan el desempeño de la firma en el marco de las relaciones inter-organizacionales facilitará a los gerentes realizar mejores acuerdos de colaboración que contribuyan con sostenibilidad en el largo plazo y desempeños superiores al promedio de la industria en el corto plazo.
El gobierno más efectivo en relaciones inter-organizacionales	Conocer los mecanismos de gobierno más idóneos que favorezcan la ambidestreza organizacional permitirá a los directivos gestionar y controlar de una mejor manera las relaciones inter-organizacionales.

Fuente: Los autores

Referencias

- Adler, P. S., Goldoftas, B., and Levine, D. I. (1999). Flexibility versus Efficiency? A Case Study of Model Changeovers in the Toyota Production System. *Organization Science*, 10(1), 43-68.
- Andriopoulos, C., and Lewis, M. W. (2009). Exploitation-Exploration Tensions and Organizational Ambidexterity: Managing Paradoxes of Innovation. *Organization Science*, 20(4), 696-717.
- Atuahene-Gima, K. (2005). Resolving the capability-rigidity paradox in new product innovation. *Journal of marketing*, 69(4), 61-83.
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99.
- Biao, S., and Yi-Ju, L. (2014). Achieving alliance ambidexterity through managing paradoxes of cooperation. *European Journal of Innovation Management*, 17(2), 144-165.
- Blome, C., Schoenherr, T., and Kaesser, M. (2013). Ambidextrous Governance in Supply Chains: The Impact on Innovation and Cost Performance. *Journal of Supply Chain Management*, 49(4), 59-80.
- Burns, T., and Stalker, G. M. (1961). The management of innovation. *University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship*.
- Colombo, M. G., Doganova, L., Piva, E., D'Adda, D., and Mustar, P. (2014). Hybrid alliances and radical innovation: the performance implications of integrating exploration and exploitation. *The Journal of Technology Transfer*, 1-27. doi: 10.1007/s10961-014-9363-x
- Cyert, R. M., and March, J. G. (1963). A behavioral theory of the firm. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall*, 2.
- Dahlander, L., and Gann, D. M. (2010). How open is innovation? *Research Policy*, 39(6), 699-709. doi: 10.1016/j.respol.2010.01.013
- Dittrich, K., and Duysters, G. (2007). Networking as a Means to Strategy Change: The Case of Open Innovation in Mobile Telephony. *Journal of Product Innovation Management*, 24(6), 510-521. doi: 10.1111/j.1540-5885.2007.00268.x
- Duncan, R. B. (1976). The ambidextrous organization: Designing dual structures for innovation. In L. R. P. In R. H. Kilmann, and amp; D. Slevin (Ed.), *The management of organization design: Strategies and implementation* (V1: 167-188). New York: North Holland.
- Geyskens, I., Steenkamp, J.-B. E., and Kumar, N. (2006). Make, buy, or ally: a transaction cost theory meta-analysis. *Academy of management journal*, 49(3), 519-543.
- Gibson, C. B., and Birkinshaw, J. (2004). The Antecedents, Consequences, and Mediating Role of Organizational Ambidexterity. *Academy of Management Journal*, 47(2), 209-226. doi: 10.2307/20159573
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17(Winter Special Issue), 109-122.
- Gupta, A. K., Smith, K. G., and Shalley, C. E. (2006). The interplay between exploration and exploitation. *Academy of Management Journal*, 49(4), 693-706.
- Han, M., and Celly, N. (2008). Strategic Ambidexterity and Performance in International New Ventures. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 25(4), 335-349. doi: 10.1002/CJAS.84
- He, Z. L., and Wong, P. K. (2004). Exploration vs. exploitation: An empirical test of the ambidexterity hypothesis. *Organization science*, 15(4), 481-494.
- Hernández-Espallardo, M., Sánchez-Pérez, M., and Segovia-López, C. (2011). Exploitation-and exploration-based innovations: The role of knowledge in inter-firm relationships with distributors. *Technovation*, 31(5), 203-215.
- Im, G., and Rai, A. (2008). Knowledge Sharing Ambidexterity in Long-Term Interorganizational Relationships. *Management Science*, 54(7), 1281-1296.

- Jansen, J. J. P., George, G., Van den Bosch, F. A. J., and Volberda, H. W. (2008). Senior Team Attributes and Organizational Ambidexterity: The Moderating Role of Transformational Leadership. *Journal of Management Studies*, 45(5), 982-1007. doi: 10.1111/j.1467-6486.2008.00775.x
- Jansen, J. J. P., Simsek, Z., and Cao, Q. (2012). Ambidexterity and performance in multiunit contexts: Cross-level moderating effects of structural and resource attributes. *Strategic Management Journal*, 33(11), 1286-1303.
- Jansen, J. J. P., Tempelaar, M. P., van den Bosch, F. A. J., and Volberda, H. W. (2009). Structural Differentiation and Ambidexterity: The Mediating Role of Integration Mechanisms. *Organization Science*, 20(4), 797-811.
- Jansen, J. J. P., Van Den Bosch, F. A., and Volberda, H. W. (2005). Managing potential and realized absorptive capacity: how do organizational antecedents matter? *Academy of Management Journal*, 48(6), 999-1015.
- Jansen, J. J. P., Van Den Bosch, F. A. J., and Volberda, H. W. (2006). Exploratory Innovation, Exploitative Innovation, and Performance: Effects of Organizational Antecedents and Environmental Moderators. *Management Science*, 52(11), 1661-1674.
- Jiménez-Barrionuevo, M. M., García-Morales, V. J., and Molina, L. M. (2011). Validation of an instrument to measure absorptive capacity. *Technovation*, 31(5), 190-202.
- Junni, P., Sarala, R., Taras, V., and Tarba, S. (2013). Organizational Ambidexterity and Performance: A Meta-Analysis. *The Academy of Management Perspectives*. doi: 10.5465/amp.2012.0015
- Kauppila, O.-P. (2010). Creating ambidexterity by integrating and balancing structurally separate interorganizational partnerships. *Strategic organization*, 8(4), 283-312.
- Kauppila, O.-P. (2015). Alliance Management Capability and Firm Performance: Using Resource-based Theory to Look Inside the Process Black Box. 48(3), 151-167.
- Kogut, B., and Zander, U. (1992). Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology. *Organization science*, 3(3), 383-397.
- Kogut, B., and Zander, U. (1996). What firms do? Coordination, identity, and learning. *Organization science*, 7(5), 502-518.
- Koza, M. P., and Lewin, A. Y. (1998). The Co-evolution of Strategic Alliances. *Organization Science*, 9(3), 255-264.
- Kristal, M. M., Huang, X., and Roth, A. V. (2010). The effect of an ambidextrous supply chain strategy on combinative competitive capabilities and business performance. *Journal of Operations Management*, 28(5), 415-429.
- Lavie, D., and Rosenkopf, L. (2006). Balancing exploration and exploitation in alliance formation. *Academy of Management Journal*, 49(4), 797-818.
- Lavie, D., Stettner, U., and Tushman, M. L. (2010). Exploration and Exploitation Within and Across Organizations. *Academy of Management Annals*, 4(1), 109-155. doi: 10.1080/19416521003691287
- Levinthal, D. A., and March, J. G. (1993). The myopia of learning. *Strategic management journal*, 14(S2), 95-112.
- Lichtenthaler, U. (2009). Absorptive capacity, environmental turbulence, and the complementarity of organizational learning processes. *Academy of Management Journal*, 52(4), 822-846.
- Lin, H. E., McDonough, E. F., Lin, S. J., and Lin, C. Y. Y. (2012). Managing the Exploitation/Exploration Paradox: The Role of a Learning Capability and Innovation Ambidexterity. *Journal of Product Innovation Management*, 30(2), 262-278.
- Lin, Z. J., Yang, H., and Demirkan, I. (2007). The performance consequences of ambidexterity in strategic alliance formations: Empirical investigation and computational theorizing. *Management Science*, 53(10), 1645-1658.

- Lubatkin, M. H., Simsek, Z., Ling, Y., and Veiga, J. F. (2006). Ambidexterity and performance in small-to medium-sized firms: The pivotal role of top management team behavioral integration. *Journal of Management*, 32(5), 646-672.
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 71-87.
- Menor, L. J., Roth, A. V., and Mason, C. H. (2001). Agility in retail banking: a numerical taxonomy of strategic service groups. *Manufacturing and Service Operations Management*, 3(4), 273-292.
- Milgrom, P., and Roberts, J. (1995). Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Organizations, Incentives, and Innovation*, 19(2-3), 179-208.
- Mom, T. J. M., Fourné, S. P. L., and Jansen, J. J. P. (2015). Managers' Work Experience, Ambidexterity, and Performance: The Contingency Role of the Work Context. *Human Resource Management*. doi: 10.1002/hrm.21663
- Morgan, R. E., and Berthon, P. (2008). Market Orientation, Generative Learning, Innovation Strategy and Business Performance Inter-Relationships in Bioscience Firms. *Journal of Management Studies*, 45(8), 1329-1353. doi: 10.1111/j.1467-6486.2008.00778.x
- O'Reilly III, C. A., and Tushman, M. L. (2008). Ambidexterity as a dynamic capability: Resolving the innovator's dilemma. *Research in Organizational Behavior*, 28, 185-206.
- O'Reilly III, C. A., and Tushman, M. L. (2013). Organizational Ambidexterity: Past, Present, and Future. *Academy of Management Perspectives*, 27(4), 324-338. doi: 10.5465/amp.2013.0025.
- Papachroni, A., Heracleous, L., and Paroutis, S. (2014). Organizational Ambidexterity Through the Lens of Paradox Theory: Building a Novel Research Agenda. *The Journal of Applied Behavioral Science*. doi: 10.1177/0021886314553101.
- Park, S. H., Chen, R., and Gallagher, S. (2002). Firm resources as moderators of the relationship between market growth and strategic alliances in semiconductor start-ups. *Academy of Management Journal*, 45(3), 527-545. doi: 10.2307/3069379.
- Parmigiani, A., and Rivera-Santos, M. (2011). Clearing a path through the forest: A meta-review of interorganizational relationships. *Journal of Management*, 37(4), 1108-1136.
- Pfeffer, J., and Salancik, G. (1978). The external control of organizations: a resource dependence perspective.
- Poppo, L., and Zenger, T. (2002). Do formal contracts and relational governance function as substitutes or complements? *Strategic Management Journal*, 23(8), 707-725.
- Prieto, I. M., and Pilar Pérez Santana, M. (2012). Building ambidexterity: The role of human resource practices in the performance of firms from Spain. *Human Resource Management*, 51(2), 189-211.
- Quinn, R. E., and Rohrbaugh, J. (1983). A spatial model of effectiveness criteria: towards a competing values approach to organizational analysis. *Management Science*, 29(3), 363-377.
- Raisch, S., and Birkinshaw, J. (2008). Organizational Ambidexterity: Antecedents, Outcomes, and Moderators. *Journal of Management*, 34(3), 375-409.
- Raisch, S., Birkinshaw, J., Probst, G., and Tushman, M. L. (2009). Organizational Ambidexterity: Balancing Exploitation and Exploration for Sustained Performance. *Organization Science*, 20(4), 685-695.
- Rothaermel, F. T. (2001). Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. *Strategic Management Journal*, 22(6-7), 687-699.
- Rothaermel, F. T., and Alexandre, M. T. (2009). Ambidexterity in Technology Sourcing: The Moderating Role of Absorptive Capacity. *Organization Science*, 20(4), 759-780.

- Rothaermel, F. T., and Deeds, D. L. (2004). Exploration and exploitation alliances in biotechnology: a system of new product development. *Strategic Management Journal*, 25(3), 201-221. doi: 10.1002/smj.376
- Schulze, P., Heinemann, F., and Abedin, A. (2008). *Balancing exploitation and exploration*. Paper presented at the Academy of Management Proceedings.
- Simsek, Z., Heavey, C., Veiga, J. F., and Souder, D. (2009). A Typology for Aligning Organizational Ambidexterity's Conceptualizations, Antecedents, and Outcomes. *Journal of Management Studies*, 46(5), 864-894. doi: 10.1111/j.1467-6486.2009.00841.x
- Stettner, U., and Lavie, D. (2014). Ambidexterity under scrutiny: Exploration and exploitation via internal organization, alliances, and acquisitions. *Strategic management journal*, 35(13), 1903-1929.
- Tushman, M. L., and O'Reilly III, C. A. (1996). Ambidextrous Organizations: Managing evolutionary and revolutionary change. *California Management Review*, 38(4), 8-30.
- Uotila, J., Maula, M., Keil, T., and Zahra, S. A. (2009). Exploration, Exploitation, and Financial Performance: Analysis of SandP and 500 Corporations. *Strategic Management Journal*, 30(2), 221-231.
- Venkatraman, N., Lee, C.-H., and Iyer, B. (2007). *Strategic ambidexterity and sales growth: A longitudinal test in the software sector*. Paper presented at the Unpublished Manuscript (earlier version presented at the Academy of Management Meetings, 2005).
- Vieira, P., and Teixeira, A. (2010). Are finance, management, and marketing autonomous fields of scientific research? An analysis based on journal citations. *Scientometrics*, 85(3), 627-646.
- Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic management journal*, 5(2), 171-180.
- Williamson, O. E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. New York: The Free Press.
- Zimmermann, A., and Raisch, S. (2009). *Ambidexterity in inter-firm relationships: governance structures and knowledge processes*. Paper presented at the Academy of Management Proceedings.

Polihidroxicanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial

Polyhydroxyalkanoates (PHA's) produced by bacteria and its potential application to industrial level

Recibido: 05-04-2015 Aceptado: 30-05-2015

Ana Carolina Lemos Delgado¹
Alexis Mina Cordoba²

Resumen

Los Polihidroxicanoatos (PHA) son plásticos biocompatibles y biodegradables sintetizados por una amplia variedad de microorganismos, que comparten características muy similares con los plásticos de origen petroquímico. Los estudios más recientes se centran en la búsqueda de sustratos económicos y en estrategias de extracción que permitan la reducción de los costos del producto y de esta forma, puedan incursionar en un mercado ampliamente difundido donde dominan los plásticos derivados del petróleo. El objetivo de esta revisión, consiste en mostrar la producción de polihidroxicanoatos como un recurso y herramienta de primera mano que tienen un gran potencial de uso en aplicaciones que van desde la manufactura de productos desechables de uso común, hasta la de productos biomédicos y farmacéuticos de alto valor agregado.

Palabras clave: bioplásticos; biopolímeros; polihidroxicanoatos; microorganismos; biosíntesis.

Abstract

Polyhydroxyalkanoates (PHA'S) are biodegradable and biocompatible plastics synthesized by a wide variety of microorganisms, which share similar characteristics with petrochemical plastics. The most recent studies focus on the pursuit of economic substrates and extraction strategies that allow reducing product costs and thus, can make inroads in a market widely disseminated where petrochemical plastics dominate. The aim of this review is to show the polyhydroxyalkanoates production as a resource and tool first hand and have great potential for use in applications ranging from the manufacture of disposable products commonly used to biomedical and pharmaceutical products high added value.

¹ Colombiana, Bióloga, Estudiante de Maestría en Biotecnología, Facilitadora área de Biotecnología Tecnoacademia Nodo Cali, Centro ASTIN, SENA Regional Valle, alemosd@sena.edu.co.

² Colombiano, Ingeniero de Materiales, Facilitador área de Nanotecnología Tecnoacademia Nodo Cali, Centro ASTIN, SENA Regional Valle, jminac@sena.edu.co.

Key Words: bioplastic; biopolymers; polyhydroxyalkanoates; microorganisms; biosynthesis.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros a los que se le han dado variados usos en la industria, desde la farmacéutica, alimentos y transporte entre otros, convirtiéndose en la base de la mayoría de los productos de consumo habituales (Grados *et al.*, 2008) y reemplazando a los empaques de vidrio y papel debido a algunas de sus propiedades como la elasticidad y flexibilidad (Arcos, 2007), además de su fácil moldeamiento y alta resistencia química (Castillo, 2008). Los polímeros convencionales, se producen mayormente como derivado de la industria petroquímica y perduran en la naturaleza por largos periodos de tiempo, debido a su alto peso y conformación molecular que los hace materiales recalcitrantes y resistentes a la acción degradadora de los microorganismos (Khanna y Srivastava, 2005; González *et al.*, 2013), no son biodegradables y se bio-acumulan en los ecosistemas, produciendo grandes cantidades de sustancias tóxicas que afectan notablemente el medio ambiente (Wendlandt *et al.*, 2005).

Por su parte, los bioplásticos son un tipo de material que en las últimas décadas ha sido utilizado para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo y en contraste con estos, se pueden producir a partir de fuentes renovables de energía (Rozsa *et al.*, 2004; Arroyave *et al.*, 2013). La asociación Europea de Bioplásticos clasifica estos como: 1) plásticos sintetizados a partir de fuentes renovables y 2) polímeros biodegradables que cumplen con todos los criterios de las normas científicas reconocidas de biodegradabilidad y compostaje de plásticos según el estándar Europeo EN 13432 (Industry Experts, 2012) como lo son los polihidroxialcanoatos (PHA's).

Si bien se ha explorado y ahondado en diferentes procesos para reciclar o eliminar los plásticos de origen petroquímico del medio ambiente, la tendencia socioeconómica hacia los modelos de desarrollo sostenibles han impulsado la investigación sobre la generación de bioplásticos como los polihidroxialcanoatos (Verlinden *et al.*, 2007), que ofrecen una mejor biocompatibilidad, ocasionando menores impactos en los ecosistemas. Sin duda el reto de esta tecnología de producción limpia, radica en obtener bioplásticos con propiedades similares a los plásticos de origen petroquímico existentes en el mercado con un costo similar o menor (Rivera, 2009).

Polihidroxialcanoatos

Los biopolímeros o polihidroxialcanoatos (PHA's) son considerados fuertes candidatos para el reemplazo de los polímeros de origen petroquímico, ya que siendo sintetizados por microorganismos a partir de sustratos de bajo o nulo valor económico y en general de recursos renovables, tienen características físicas similares a las de los plásticos derivados del petróleo, como el polipropileno y polietileno (González *et al.*, 2013; Lee, 1996; Sudesh *et al.*, 2000; Serrano, 2010), pero tienen la posibilidad de ser degradados a dióxido de carbono y agua en condiciones aerobias o a metano en condiciones anaerobias (Du *et al.*, 2001), en hábitats tan diversos como suelo, mar, aguas estancadas o aguas residuales (Barbosa *et al.*, 2005 Carballo *et al.*, 2003).

Estos, son polímeros de ácidos hidroxialcanoicos que algunos microorganismos acumulan intracelularmente como material de reserva, para usarlo posteriormente como fuente de carbono y energía. La polimerización de los ácidos hidroxialcanoicos, por acción de enzimas intracelulares, tiene lugar mediante condensación del grupo carboxilo de un monómero (ácido hidroxialcanoico), con el grupo hidroxilo del siguiente, formándose un enlace éster, de ahí que se han llamados biopolíésteres (Khanna y Srivastava 2005) (Figura 1).

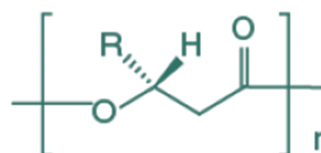


Figura 1. Estructura química del PHA
Fuente. (tomado de Andler y Díaz, 2013)

El valor de n dependerá del grupo R y el microorganismo en el cual se produce el biopolímero, variando entre 100 y 30000 (Lee, 1996a). En la Tabla 1 se indican las sustituciones más comunes del grupo radical y el nombre que recibe el polímero (Andler y Díaz, 2013).

Tabla 1. Sustituciones del grupo radical y algunos de los PHA's más conocidos

Grupo R	Nombre del Polímero	Abreviación
CH ₃	poli(3-hidroxibutirato)	PHB
CH ₂ CH ₃	poli(3-hidroxivalerato)	PHV
CH ₂ CH ₂ CH ₃	poli(3-hidroxihexanoato)	PHHx

Fuente: Tomado de (Andler y Díaz, 2013)

A pesar de las ventajas ambientales de los PHA's frente a los plásticos petroquímicos, el problema fundamental que todavía afronta la producción de este polímero es su elevado costo (Andler y Díaz, 2013), por lo que se están tomando medidas para hacerlos más accesibles a la población, entre las cuales figuran mejoras en el proceso de fermentación y extracción.

Autores como Salehizadeh y Van Loosdrecht 2004, señalan como la investigación sobre la producción de PHA ha dado lugar a la obtención de cultivos con una concentración de polímero de más de 80 g/L y con una productividad de más de 2 g/L/h, usando sistemas por lote alimentado o continuo que potencialmente podrían producir 50 000 toneladas por año, marcando de esta manera un uso y un aprovechamiento potencial de producción de este biopolímero (Salehizadeh y Van Loosdrecht, 2004)

Por otra parte, para autores como Dai y colaboradores (2007), la producción de PHAs mediante procesos fermentativos con microorganismos, se puede efectuar con un microorganismo (cultivo puro) o un consorcio de microorganismos (cultivos mixtos); sin embargo su producción económica va a depender no solo en los costos de la materia prima de carbón sino en las condiciones de asepsia del cultivo (monocultivos) que son la tecnología más utilizada o la producción por cultivos mixtos (Dai *et al.*, 2007).

La producción de PHA usando cultivos mixtos, ofrece una ventaja frente a los cultivos puros, debido a que en este tipo de fermentaciones las condiciones de esterilidad no son requeridas. (Arcos, 2007). En cualquier caso, se requiere establecer los valores óptimos para cada uno de los parámetros operacionales involucrados en el proceso fermentativo, siendo los de mayor incidencia la temperatura, el pH y el tiempo de fermentación (Kulpreecha *et al.*, 2009). Sin embargo, hasta ahora el desafío sigue siendo desarrollar un bioproceso con alta eficiencia de conversión en PHA al más bajo costo posible (Andler y Díaz, 2013).

Clasificación de los PHA's

Los polihidroxiálcanoatos se clasifican de acuerdo con la naturaleza de sus unidades monómeras, si el polímero está formado por solo un tipo de unidades se denomina homopolímero (Anderson y Dawes, 1990); a su vez, si está integrado por monómeros con distinta longitud de átomos de carbono en el mismo gránulo se refiere entonces a un copolímero (Zhao y Chen, 2007).

Se conocen tres tipos de PHAs según la longitud de

la cadena lateral: PHAs scl (*short chain length*), PHAs mcl (*médium chain length*) y PHAs lcl (*long chain length*) donde la cadena lateral alquílica varía de 1 a 14 carbonos (Cardona, 2012). Las características principales de los PHAs scl son ser demasiados rígidos y frágiles, mientras los PHAs mcl son más elásticos pero dotados de menos fuerza mecánica (Ortiz, 2009). Se debe mencionar que la razón por la cual un PHA se forma como un polímero de cadena corta o media está relacionada directamente con la enzima encargada de la síntesis (sintasa) ya que esta es específica al sustrato y puede actuar sobre monómeros con diferente número de átomos de carbono (Anderson y Dawes, 1990); de esta manera la composición química de los PHAs va a depender del sustrato utilizado, de la enzima PHA-sintasa y de la ruta metabólica involucrada (Lemos *et al.*, 1998).

Dentro de lo PHA's, el poli(3-hidroxibutirato) o PHB es uno de los más estudiados y es sintetizado por diferentes bacterias (Gumel *et al.*, 2013). Posee características muy similares al polipropileno (PP) que es uno de los plásticos convencionales (de la industria petroquímica) de mayor uso. En la tabla 2 se muestran una comparación de ambos polímeros.

Tabla 2. Comparación propiedades físicas entre PHB y polipropileno (PP)

Parámetro	PHB	PP
Temperatura de fusión (°C)	177	176
Temperatura de transición vítrea (°C)	2	-10
Cristalinidad (%)	60	50-70
Fuerza de tensión (MPa)	43	38
Extensión hasta quiebre (%)	5	400

Fuente: (Jendrosseck y Handrick, 2002).

Síntesis y acumulación microbiana de PHA's

Si bien, se han detectado acumulaciones de PHA's en diferentes especies bacterianas, el porcentaje de acumulación en muchas de ellas es muy bajo, por lo cual son rechazadas ante la dificultad o imposibilidad de industrializar el proceso (Ieczak *et al.*, 2013; Andler y Díaz, 2013); en la actualidad se conocen al menos 75 géneros diferentes de bacterias productoras de PHA's, tanto Gram negativas como Gram positivas, que los acumulan en el citoplasma bajo ciertas y determinadas condiciones de cultivo (Scherer *et al.*, 1999; Bello *et al.*, 2009 y Suwannasing *et al.*, 2012).

Se debe resaltar que la producción de los gránulos de PHAs es inducida bajo una serie de condiciones

desfavorables para el crecimiento bacteriano, con lo cual estos biopolímeros son producidos y acumulados intracelularmente como reserva de energía cuando las células bacterianas se encuentran en dichas condiciones de estrés que generalmente puede ser nutricional como la limitación de fósforo, nitrógeno, oxígeno o en un pH no óptimo y un exceso de la fuente de carbono. Se ha reportado que se puede llegar a alcanzar en una bacteria hasta 90 % de su peso seco en moléculas de PHAs (Madison y Huisman, 1999).

Los PHA's son acumulados como polímeros líquidos, móviles y amorfos en forma de gránulos que se alojan en el citoplasma de los microorganismos, rodeados de una monocapa de fosfolípidos que contiene enzimas polimerasas y despolimerasas (Figura 2) (Ábalos *et al.*, 2003; Gómez, 2013). Estas bacterias sintetizan los PHA's como compuestos de almacenamiento de fuentes de carbono y energía (Lenz y Marchessault, 2005; Ojumu, *et al.*, 2004) y probablemente cumplen con otras funciones en la célula bacteriana. De esta manera, constituyen un grupo de materiales biodegradables de gran potencial biotecnológico (Arcos, 2007).

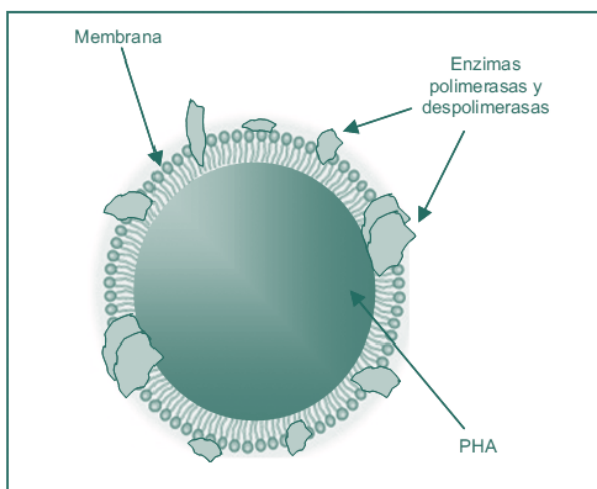


Figura 2. Esquema del gránulo de PH acumulado intracelularmente.
Fuente: (Sudesh *et al.*, 2000).

Investigaciones previas realizadas sobre los procesos de producción y acumulación de los PHA's indican que el número de gránulos por célula se definen en las primeras etapas del proceso y que la producción del polímero cesa cuando el contenido de acumulación alcanza entre el 80-90% del peso celular en base seca de la bacteria (Catone, 2013). Este fenómeno ha llevado a la conclusión de que existen restricciones físicas que impiden a la célula acumular más polímero, a pesar de la disponibilidad de sustrato y actividad de la enzima PHA polimerasa (Wang y

Lee, 1997). Estas inclusiones se observan bajo el microscopio como gránulos esféricos de diferentes tamaños (Braunegg *et al.*, 1998).

Teniendo en cuenta que el PHA es un compuesto de almacenamiento a partir de un exceso de carbono, es natural que los microorganismos cuenten con una enzima para degradarlo y así recuperar este carbono almacenado cuando en el medio circundante este escasee, de este modo los PHA's pueden servir como una fuente de carbono o de energía para los microorganismos durante un período de ayuno o de estrés nutricional (Punrattanasin, 2001; Arcos, 2007). En bacterias como *Ralstonia eutropha*, se ha observado que la tasa de degradación del polímero acumulado es aproximadamente 10 veces más lenta que la tasa de síntesis. Sin embargo el mecanismo de degradación de PHA's no se ha investigado tan extensamente como la síntesis (Doi *et al.*, 1992).

Sin embargo, también existen bacterias que presentan una producción del polímero asociada al crecimiento, aunque este caso es menos frecuente (Lee, 1996a). En la tabla 3, se muestran los principales nutrientes cuya limitación da lugar a la síntesis de PHA en diferentes bacterias.

Tabla 3. Principales nutrientes cuya limitación da lugar a la producción de PHA's en diferentes microorganismos

Microorganismo	Nutriente limitante
<i>Alcaligenes latus</i>	Nitrógeno
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	
<i>Pseudomonas cepacia</i>	
<i>Ralstonia eutropha</i>	
<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	
<i>Pseudomonas sp. K.</i>	Magnesio
<i>Azotobacter vinelandii</i>	
<i>Azotobacter beijerinckii</i>	Oxígeno
<i>Rhizobium ORS571</i>	
<i>Rhodospirillum rubrum</i>	Fósforo
<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	
<i>Caulobacter crescentus</i>	
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	

Fuente: (Babel y Steinbüchel, 2001).

Finalmente, a la hora de la elección del microorganismo para la producción industrial del biopolímero variará dependiendo de factores como la habilidad celular para utilizar fuentes de carbono no costosas, la velocidad de

crecimiento, la velocidad de síntesis del biopolímero, la calidad y cantidad de PHA y el costo de los procesos de recuperación (Lee y Choi, 2001). A nivel industrial se emplean cepas como la *Ralstonia eutropha*, *Alcaligenes latus*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas oleovorans*, *Paraccus denitrificans*, *Protomonas extorquens* y *E. coli* recombinante (Lee, 1996b; Fernández *et al.*, 2005; Arroyave *et al.*, 2013).

A nivel mundial, el microorganismo más estudiado ha sido la bacteria *R. eutropha* debido a su capacidad de acumular grandes cantidades de PHAs, específicamente del tipo poli-b-hidroxibutirato (PHB), en un porcentaje cercano al 80% del peso seco de la bacteria. Esta producción y acumulación, puede llevarse a cabo en un medio simple a partir de fuentes de carbono económicas tales como glucosa, fructosa y residuos de la industria oleica, agroindustrial, entre otras (Lee, 1996b; Priyadarshi *et al.*, 2014).

Cabe mencionar que en los últimos años son más frecuentes y más numerosos los artículos e investigaciones que se desarrollan en cuanto a la producción, ventajas y desventajas de la obtención de PHA's. Dentro de ellos diferentes factores físico-químicos han sido evaluados y puestos a prueba con el fin de conocer y establecer aquellos que presentan mayor incidencia en la producción de estos biopolímeros. Por ejemplo, Kasemsap y Wantawin (2006) en Tailandia investigaron la productividad y el contenido intracelular de PHA's a partir de lodos activados provenientes de aguas residuales que fueron utilizados como fuente de carbono a partir de un mix de microorganismos autóctonos de este sustrato para evaluar el efecto del pH sobre la capacidad de producción del biopolímero. Estos investigadores encontraron que los rendimientos obtenidos por los cultivos mixtos, se podían comparar con los de las cepas puras si el proceso tenía una fase anaerobia y un aumento en el pH, porque de esta forma la célula necesita menos energía, y aprovecha la energía suministrada por la degradación del polifosfato en condiciones anaerobias (Castro *et al.*, 2011), demostrando una vez más que la producción de PHAs a partir de lodos activados es una solución innovadora que reduce notablemente los costos de proceso, es amigable con el ambiente y puede manejar operaciones más flexibles. (Salazar, 2010).

Se debe resaltar, que han sido utilizados diferentes sustratos a lo largo de los últimos años, entre ellos residuos de procesos de la agricultura como la cascarilla de arroz y almidón de maíz, demostrando que estos sustratos, no solo reducen los costos del material, sino que además incrementan la concentración celular y la acumulación de PHAs (Salazar, 2010).

A partir de diferentes ensayos a nivel de laboratorio Huang y colaboradores en el 2006 evaluaron dos tipos de sustratos: cascarilla de arroz y almidón de maíz y como cepa *Haloferax mediterrane* en la capacidad de producción de PHA's. Ellos encontraron que esta cepa no puede crecer a partir de cascarilla de arroz en contraste con los sorprendentes resultados que se obtuvieron al usar el almidón de maíz como sustrato, donde la concentración de PHA alcanzó el 77,8 g/L y un contenido de 55,6% de PHA del peso seco celular, representando más de dos veces la concentración celular y tres veces la concentración de PHA si se usa solo almidón de maíz. Estos resultados, hacen este proceso potencialmente viable a gran escala si se continúa con el mismo modelo de fed-batch, y bajo los mismos parámetros utilizados a nivel de laboratorio (Huang *et al.*, 2006).

Aplicación Industrial

Aunque aún no son muy comercializados ni presentan gran demanda a nivel mundial, algunas aplicaciones industriales para los PHA's ya han sido descritas, entre ellas la fabricación de películas delgadas de recubrimiento; agentes ligantes en formulaciones de tintas a base de agua; como fuente de monómeros quirales para la síntesis de compuestos activos y como soporte para ingeniería de tejidos e implantes médicos temporarios (Vergara, 2012).

Debido a que posee un alto grado de polimerización y un grado de cristalinidad en el rango de 60 a 80%, son activos óptimamente (ya que presentan un carbono quiral), isotácticos (es decir están conformados por unidades repetidas estereoquímicamente regulares) e insolubles en agua. Haciéndolos altamente competitivos con el polipropileno y otros plásticos derivados del petróleo (Reddy *et al.*, 2003; Madison y Huisman, 1999).

Son estas propiedades, las que hacen que los PHA's puedan ser usados en los procesos de moldeado (González *et al.*, 2013). Sin embargo, la aplicación más conocida de estos biopolímeros de cadena corta es para la fabricación de botellas desechables, bolsas y otros productos desechables como pañales, servilletas, rastrillos, vasos y cubiertos (Anderson y Dawes 1990).

Además, pueden ser usados en la cubierta de materiales fibrosos como papel o cartón a partir de la forma de látex acuoso. De esta manera, dado su alta resistencia al agua, está cubierta protege al papel o cartón contra el deterioro causado por la humedad (González *et al.*, 2013).

Colombia al igual que algunos países Suramericanos no presentan avances significativos en la orientación y producción de PHA's; en los últimos años se han desarrollado avances a escalas de laboratorio. Entre los que se encuentra el caso reportado en el 2008 en la Revista Colombiana de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, donde se publicó una tecnología novedosa que permitió liberar toxinas de la cepa *Bacillus thuringiensis* por medio del uso de gránulos de PHA's. Esta tecnología hallaba una solución ambiental importante, ya que la toxina producida por este microorganismo sería inmovilizada dentro del gránulo de PHA, que posteriormente sería utilizado como control biológico de plagas, de esta manera al inmovilizar la toxina dentro del gránulo, se tiene la posibilidad de modificar parámetros como el tamaño del gránulo, así como incrementar el contenido de dicha toxina dentro de él (Rosas, 2008).

En la agricultura, la aplicación de los PHA de cadena corta se desarrolla en macetas biodegradables, tubos de irrigación y matrices para la liberación controlada de factores de crecimiento, pesticidas y herbicidas. Una ventaja en este campo de aplicación es que no se requiere un grado de purificación muy alto del polímero, lo cual puede facilitar el proceso de extracción y hacerlo más económico (Babel y Steinbüchel 2001 citado por Gonzalez *et al.*, 2013).

Se pudo observar que la producción de los PHA's comenzó a ser importantes en nuestro entorno y aun cuando su producción industrial no sea tan viable debido a los tiempos tan largos estimados para mejoras en el proceso, cabe resaltar que estos biopolímeros inician en darse a conocer como una tecnología emergente y de uso potencial para satisfacer las diferentes necesidades de cada país a futuro.

Una de las estrategias que se vislumbran en el panorama, para hacer competitivo la producción de los biopolímeros desde el punto de vista ambiental, tecnológico y hasta económico, sería el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de PHA's; de este modo se estarían trabajando dos aspectos importantes en sectores diferentes: 1) En el sector agroindustrial, creándose una alternativa de aprovechamiento de un subproducto, dado que en muchas ocasiones, se generan altos impactos ambientales en su disposición final o en la generación de una alta inversión económica para su tratamiento y 2) En la aplicación de tecnologías amigables con el medio ambiente, desde la industria de los biopolímeros, específicamente el PHB, pues se disminuyen los costos de producción y se daría un valor agregado a una materia prima contaminante (Naranjo, 2010).

En Colombia y específicamente el departamento del Valle del Cauca donde la actividad agrícola tiene una participación importante en la economía nacional y regional y al mismo tiempo genera grandes cantidades de desechos sólidos y líquidos (algunos de ellos con características recalcitrantes y contaminantes), la exploración de diferentes alternativas para orientar y desarrollar un manejo ambientalmente sostenible de dichos residuos agroindustriales es una prioridad (Sánchez *et al.*, 2012), convirtiéndolos en puntos clave para el aprovechamiento biotecnológico como lo es la producción de PHA's.

De esta manera, esta recopilación pretende inducir y/o orientar trabajos e investigaciones, que puedan abarcar las distintas problemáticas de transformación y optimización de las variables implícitas del proceso de producción y acumulación de los PHA's y que además propongan alternativas de solución y aportes que poco a poco dirijan el camino hacia la explotación de los residuos para este fin.

Conclusiones

- Los polihidroxialcanoatos son biopolímeros versátiles con diversas aplicaciones en industrias como la: farmacéutica, biomedicina, de alimentos, embalaje, entre otras. Los PHAs son biodegradables y se pueden producir de una forma sostenible y amigable con el medio ambiente, utilizando materias primas renovables o de desecho industrial.
- Si bien, los PHAs son reconocidos como candidatos para producir plásticos biodegradables, aún tienen como limitación para su producción a gran escala su alto precio en comparación con los plásticos convencionales, por ello es necesario buscar una alternativa amigable con el medio ambiente y económicamente justificable para producirlos.

BIBLIOGRAFIA

- Ábalos, A., Espuny M.J., Bermúdez, R.C. y Manresa, A. (2003). Aplicación de la Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS) en la caracterización química de los polihidroxialcanoatos de *Pseudomonas aeruginosa* AT10. *Revista Cubana de Química*. 15(2), 3-10.
- Andler, R. y Díaz, A. (2013). Ingeniería para producir plásticos desde bacterias Technological and market aspects of microbial bioplastics production. *Ingeniare* 27- 29. Chile.

- Anderson, A. J. y Dawes, E. A. (1990). Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Microbiological Reviews*, 54(4), 450-472.
- Arcos, M. (2007). *Degradación de aguas residuales y producción de polihidroxialcanoatos mediante Un biorreactor discontinuo*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Arroyave, A.L.; Cardona, M. y Agudelo, L.M. (2013). Identificación de cepas nativas con potencial para obtención de polihidroxialcanoatos (PHA's) en lodos activados. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2, 69- 76.
- Babel W. y Steinbüchel A. (2001). Biopolyesters. Special issue of advances in *Biochemistry. Engineering. Biotechnology*. 1, 342.
- Barbosa, M.; Espinosa, A.; Malagón, D. y Moreno N. (2005). Producción de Poli-B-Hidroxibutirato (PHB) por *Ralstonia eutropha* ATCC 17697. *Universitas Scientiarum*. 10(1), 45-54.
- Bello, D.; Otero, M.; Ortega, G. y Carrera, E. (2009). Estado del arte en la producción microbiológica de Polihidroxialcanoatos. *Revista ICIDCA* 43(2), 3-13. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120662002>.
- Braunegg, G.; Lefebvre, G. y Genser, K.F. (1998). Polyhydroxyalkanoates, Biopolyesters from renewable resources: Physiological and engineering aspects. *Journal of Biotechnology* 65, 127-161.
- Carballo, M.E.; Iglesias, Y.; Martínez, J.; Solano, R.; Fernández, A.I. y Villaverde, M.J. (2003). Evaluación de la producción de polihidroxialcanoatos por cepas bacterianas marinas. *Revista Biología* 17 (1), 52-58.
- Cardona, M. y Agudelo, L.M. (2012). *Producción de bioplásticos a partir de bacterias empleando sustratos no convencionales*. Grupo de Biotransformación Escuela de Microbiología. Universidad de Antioquia.
- Castillo, D. (2008). *Efecto Del gen fadH1 en la producción de PHA conteniendo monómeros insaturados por Pseudomonas putida*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Sao Paulo, Brasil.
- Castro, J.M.; López, M.J.; Rodríguez C.M.; Muñoz, A. (2011). *Sistema de reducción de lodos en tratamientos de aguas residuales*. Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:67093/componente67090.pdf. Junio 15 de 2015.
- Catone, V. (2013). *Identificación y análisis de los genes asociados al metabolismo de polihidroxialcanoatos en Pseudomonas extremaustralis*. (Tesis Doctoral). Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Dai, Y.; Yuan, Z.G.; Jack, K.; Keller, J. (2007). Production of targeted poly(3-hydroxyalkanoates) copolymers by glycogen accumulating organisms using acetate as sole carbon source. *Journal of Biotechnology*. (129): 489-497.
- Doi, Y.; Kawaguchi, Y.; Koyama, N.; Nakamura, S.; Hiramitsu, M.; Kimura, H. (1992). Synthesis and degradation of polyhydroxyalkanoates in *Alcaligenes eutrophus*. *FEMS Microbiology Reviews* 103,103-108.
- Du, G.; Jian, C.; Jian, Y. y Lun, S. (2001). Continuous production of poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia eutropha* in a two-stage culture system. *Journal of Biotechnology* 88, 59-65.
- Fernández, P.; Ortiz, F.L. y España, J.E. (2005). Caracterización de poli-(hidroxibutirato - co-hidroxivalerato) sintetizado por una cepa silvestre de *Bacillus mycoides*, FLB2. *Revista centro de estudios en salud* 1 (6), 1-10.
- Gómez, J.R. (2013). *Producción y caracterización de polihidroxialcanoatos, sintetizados por microorganismos nativos a partir de Residuos grasos*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- González, Y.; Meza, J.C.; González, O. y Córdova, J.A. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29 (1), 77-115.

- Grados, R.; Álvarez M.T.; Gimenez A. y Mattiasson, B. (2008). Degradación anaeróbica de desecho agrícolas por consorcios microbianos para la producción de polihidroxialcanoatos. *Biofarbo* 16, 28-35.
- Gumel, A. M.; Annuar M. S. M. y Chisti Y. (2013). Recent Advances in the Production, Recovery and Applications of Polyhydroxyalkanoates. *Journal of Polymers and the Environment* 21,580–605 DOI 10.1007/s10924-012-0527-1.
- Huang T. Y.; Duan, K. J.; Huang, S. Y. (2006). Production of polyhydroxyalkanoates from inexpensive extruded rice bran and starch by *Haloferax mediterranei*. *Journal Ind Microbiological Biotechnology* 33. 701-706.
- Ieczak, J.L.; Schmidell, W. y Falcao de Aragao A.M. (2013). Highcell Highcell-density culture strategies for polyhydroxyalkanoate production: a review *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology* 40, 275-286.
- Industry Experts (2012). Bioplastics-A global market overview. *Industrial Biotechnology* 8,62-65.
- Jendrossek, D. and Handrick, R. (2002). Microbial degradation of polyhydroxy alkanoates. *Annual Review of Microbiology*, 56, 403-432.
- Kasemsap, C., and Wantawin, C. (2007). Batch production of polyhydroxyalkanoate by low-polyphosphate-content activated sludge at varying pH. *Bioresource Technology* 98, 1020-1027.
- Khanna, S. and Srivastava A.K. (2005). Statistical media optimization studies for growth and PHB production by *Ralstonia eutropha*. *Process Biochemistry* 40, 2173-2182.
- Kulpreecha, S.; Boonruangthavorn, A.; Meksiriporn, B. and Thongchul, N. (2009). Inexpensive fed-batch cultivation for high poly(3-hydroxybutyrate) production by a new isolate of *Bacillus megaterium*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 107(3):240-245.
- Lee, S. Y. (1996a). Bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Biotechnology and Bioengineering* 49, 1-14.
- Lee, S.Y. (1996b). Plastic bacteria? Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria. *Trends in Biotechnology* 14 (11), 431-438.
- Lee, S.Y. and Choi, J. (2001). Production of microbial polyester by fermentation of recombinant microorganisms. T. Scheper. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*. 71, 183–207.
- Lemos, P. C.; Viana, C.; Salgueiro, E. N.; Ramos, A. M.; Crespo, J. P. S. G. and Reis, M. A. M. (1998). Effect of carbon source on the formation of polyhydroxyalkanoates (PHA) by a phosphate-accumulating mixed culture. *Enzyme Microbial Technology* 22, 662–671.
- Lenz, R. and Marchessault, R. (2005). Bacterial polyesters: biosynthesis, biodegradable plastics and biotechnology. *Biomacromolecules* 6,1-8.
- Madison L. and Huisman, W. (1999). Microbiology and Molecular *Biology Reviews* 63, 21
- Naranjo, J.M. (2010). *Producción de polihidroxibutirato a partir de residuos Agroindustriales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Colombia.
- Ojumu, T.V.; Yu, J. and Solomon, B.O. (2004). Production of Polyhydroxyalkanoates, a bacterial biodegradable polymer. *African Journal of Biotechnology* 3 (1): 18-24.
- Ortiz, E. (2009). *Obtención, aislamiento e identificación de cepas bacterianas presuntas productoras de poli-β-hidroxialcanoatos (PHA's)*. (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana. Mexico.
- Punrattanasin, W. (2001). *The Utilization of Activated Sludge Polyhydroxyalkanoates for the Production of Biodegradable Plastics*. Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Environmental Science and Engineering.
- Priyadarshi, S.; Borse, B.B. and Shukla, A. (2014). Polyhydroxyalkanoates: Role of *Ralstonia eutropha*. *International Journal of Biomedical And Advance Research* 05 (02).

- Reddy, C.S.K.; Kalia, V.C. and Rashm, C. R. (2003). Polyhydroxyalkanoates: an overview. *Bioresource Technology*. 87, 137–146.
- Rosas, N. (2008). Avances en el desarrollo de formulaciones insecticidas a base de *Bacillus thuringiensis*. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 10(1), 49-63. Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1395/2010>.
- Salehizadeh H. and Van Loosdrecht M.C.M. (2004). Production of polyhydroxyalkanoates by mixed culture: recent trends and biotechnological importance. *Biotechnol. Adv.* 22, 261-279.
- Salazar, D. (2010). *Estudio del desarrollo industrial en la producción de polihidroxiálcanoatos en la primera década del siglo XXI* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia
- Sánchez, S. A.; Marín, M.A.; Mora, A.L. y Yepes M.S. (2012). Identificación de bacterias productoras de polihidroxiálcanoatos (PHAs) en suelos contaminados con desechos de fique. *Revista Colombiana de Biotecnología* 14 (29), 89-100.
- Serrano, J.Y. (2010). Polihidroxiálcanoatos (PHA's): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. *Revista Teoría y Praxis investigativa*, 5 (2), 79-84.
- Rivera, L.R. y Nevárez, G. V. (2009). Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos. *Tecnociencia*, 3 (2), 58-63.
- Rozsa, C.; Dupeyrón, D.; Galego, N.; Cyras, V. y Vázquez, A. (2004). Miscibilidad de mezclas poliméricas de polihidroxiálcanoatos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 5 (2), 55-66.
- Scherer, T.M.; Fuller, R.C.; Lenz, R.W. and Goodwin, S. (1999). Hydrolysis activity of an extracellular depolymerase from *Aspergillus fumigatus* with bacterial and synthetic polyesters. *Polymer Degradation and Stability* 64, 267-275.
- Sudesh, K.; Abe, H. and Doi, Y. (2000). Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Progress in Polymer Science* 25 (10), 1503-1555.
- Suwannasing, W.; Moonarmart, S. and Kaewkannetra P. (2012). *Production of polyhydroxyalkanoates (phas): effect of agricultural medium composition as carbon sources by statistical methodology*. 1st Mae Fah Luang University International Conference 2012.
- Vergara, B.; López, M.R. y Pérez, F. (2012). *Una perspectiva de los polihidroxiálcanoatos bacterianos*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mexico.
- Verlinden R. A. J.; Hill, D. J.; Kenward, M. A.; Williams, C. D. and Radecka I. (2007). Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Applied Microbiology*. 102:1437-1449.
- Wang, F. y Lee S.Y. (1997). Poly (3-hydroxybutyrate) production with high productivity and high polymer-content by a fed-batch culture of *Alcaligenes lactus* under nitrogen limitation. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (9), 3703-3706.
- Wendlandt D.; Geyer W.; Mirschel G. (2005). Possibilities for controlling a PHB accumulation process using various analytical methods. *Journal of Biotechnology*. 117, 119-129.
- Zhao W. and Chen G.Q. (2007). Production and characterization of terpolyester poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-3-hydroxyhexanoate) by recombinant *Aeromonas hydrophila* 4AK4 harboring genes PHA-AB. *Process Biochemistry*. 42, 1342-1347.

Indice de Autores

Authors

Atuesta Boada, Luis Eduardo. Colombiano. Ing. Mecánico e Industrial de la Universidad de Pamplona (Colombia). Ms (c) en Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá (Colombia). e-mail: leatuestab@unal.edu.co.

Barandica López, Asfur. Colombiano. Msc. Ingeniería con énfasis en electrónica, profesor Universidad del Valle Cali, Colombia. Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes. e-mail: asfur.barandica@correounivalle.edu.co.

Delvasto Arjona, Silvio. Colombiano, Profesor Titular, MSc., PhD. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Dorado, Alex Julián. Colombiano, Magister en Computación, Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Universidad del Cauca-Colombia, adorado@unicauca.edu.co.

Giraldo Vásquez, Diego Hernán. Colombiano, Magíster en Ingeniería, Ingeniero Mecánico. Profesor del programa de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Grupo de Materiales Poliméricos. E-mail dhernan.giraldo@udea.edu.co.

González Carmona, Juan Manuel. Colombiano. Ph.D. Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: juanmgonzalezc@gmail.com.

González Sánchez, Andrea del Pilar. Colombiana, Tecnólogo Química Aplicada a la industria. adgonzalez20@misena.edu.co.

González Serrano, Carolina. Colombiana, PhD in Information and Communications Technologies, Universidad del Cauca - Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional-Colombia, ggonzals@unicauca.edu.co.

Guerra Betancourt, Jose Luis. Colombiano. Ingeniero de Materiales. Grupo de investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI). Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: guerrabetan@hotmail.com.

Hernandez-Espallardo, Miguel. Español, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Sección Empresa. Profesor Titular de Universidad. Universidad de Murcia. migher@um.es.

Jiménez Builes, Jovani Alberto. Colombiano, PhD in Informatics, Universidad Nacional de Medellín-Grupo de Investigación de Inteligencia Artificial en educación-Colombia, jajimen1@unal.edu.co.

Lemos Delgado, Ana Carolina. Colombiana, Bióloga, Estudiante de Maestría en Biotecnología, Facilitadora área de Biotecnología Tecnoacademia Nodo Cali, Centro ASTIN, SENA Regional Valle, aledmosd@sena.edu.co.

Lozano Gómez, Luis Fernando. Colombiano, Ingeniero Metalúrgico. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. fernandolozanoupct@hotmail.com.

Mina Cordoba, Alexis. Colombiano, Ingeniero de Materiales, Facilitador área de Nanotecnología Tecnoacademia Nodo Cali, Centro ASTIN, SENA Regional Valle, jminac@sena.edu.co.

Ortega, Carolina. Colombiana. MSc en Ingeniería Química Grupo de Investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: carolinaortega35@gmail.com.

Ortiz Serna, Juan Camilo. Colombiano, Aprendiz de la Tecnología en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas.

Pardo, Juan David. Colombiano, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. juan.pardo@correounivalle.edu.co.

Peláez Arroyave, Gabriel Jaime. Colombiano, Magister en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Ingeniero de Materiales. Instructor / Investigador del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. E-mail gajapear@gmail.com.

Ramírez Borrero, Carlos Julio. Colombiano. Ingeniero Electrónico - Postobón S.A. carlosjulior@gmail.com.

Robayo, Rafael Andrés. Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos,

Universidad del Valle, Cali, Colombia. E-mail rafael.robayo@correounivalle.edu.co.

Rodríguez-Orejuela, Augusto. Colombiano, Doctor en Ciencias de la Empresa. Profesor Titular. Universidad del Valle. augusto.3030@hotmail.com.

Ruden Muñoz, Alexander. Colombiano. Ph.D. Docente, Grupo de Investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales (RDAI), Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. e-mail: arudenm@gmail.com.

Sequeda, Federico. Colombiano. Ph.D. Docente, Grupo de investigación: Laboratorio de Recubrimientos Duros y Aplicaciones industriales (RDAI), Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: fsequeda@univalle.edu.co.

Sierra Vargas, Fabio. Colombiano. PhD en Ingeniería - Energías Renovables de la Universidad de Kassel (Alemania). Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (Colombia). e-mail: fesierav@unal.edu.co.

Solís-Molina, Miguel. Colombiano, Candidato a Doctor en Administración Universidad del Valle. Profesional 06 SENA Centro Nacional ASTIN. Integrante del Grupo de Investigación en Marketing de la Universidad del Valle.

(Colombia) y del Grupo de Investigación en Innovación, Gestión Tecnológica y del Conocimiento - INGETEC - ASTIN del SENA. masolis@misena.edu.co.

Tovar Quiroz, Edilberto. Colombiano, Ingeniero Mecánico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. edilberto.tovar@uptc.edu.co.

Trejos, Luis Anderson. Colombiano, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. juan.pardo@correounivalle.edu.co.

Velásquez Restrepo, Sandra Milena. Colombiana, Magíster en Ingeniería, Especialista en Gerencia. Líder de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA Itagüí, Antioquia. Grupo BIOMATIC - Biomecánica, Materiales, TIC, Diseño y Calidad para el Sector cuero, plástico, caucho y sus cadenas productivas. E-mail smvelasquez@sena.edu.co.

Viveros Moreno, Melani Gisella. Colombiana. Ingeniera Electrónica - ZTE Colombia S.A.S. melani.viveros@gmail.com.

Directrices para publicar artículos en la Revista Informador Técnico

1. Los artículos remitidos deben ser originales, en español o en inglés, no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.
2. Es indispensable que los autores indiquen si su artículo es producto o desarrollo de una investigación en curso o concluida. Se debe incluir en una nota a pie de página el nombre del proyecto, las fechas en que se inició y terminó el proyecto, la entidad que lo financia y la entidad que lo ejecuta.
3. Los artículos tipo 1, 2 y 3; pueden contener 20 páginas numeradas y los reportes de caso, máximo 5 páginas, sin incluir fotografías, gráficos o tablas, en papel tamaño carta. Deben presentarse a doble espacio, en fuente arial y tamaño de letra 11 puntos.
4. En la primera página se debe incluir: título del artículo en español e inglés, nombre completo de los autores, nacionalidad, afiliación institucional, grupo de investigación, resumen no superior a 250 palabras en español e inglés y palabras clave (entre 5 y 6) en español e inglés.
5. Para el autor de correspondencia se debe anexar la siguiente información: correo electrónico, número telefónico/fax, número de celular y dirección de correspondencia, a fin de facilitar el contacto y seguimiento.
6. El documento se debe entregar como archivo word (versión 2000 en adelante).
7. Instrucciones especiales para la digitación:
 - a) Usar justificación completa en el texto, sin dejar espacio entre párrafos consecutivos y sin dividir palabras a final de línea.
 - b) No dejar más de un espacio entre palabras y después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido.
 - c) No incluir saltos de página o finales de sección.
 - d) Usar guión de no separación (-) en el caso de palabras compuestas, por ejemplo teórico-práctico; guión corto (–) sin espacios para indicar rangos/intervalos, por ejemplo 2000–2007; y guión largo en el caso de cláusulas e incisos, separado del texto principal pero sin espacio entre el guión largo que abre inciso y la primera letra que éste contiene y sin espacio entre la última letra de éste y el guión largo que cierre el inciso, por ejemplo: muchos de los ensayos —aunque no todos— fueron afectados por las fuertes lluvias.
 - e) Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en la fuente arial 9 puntos.
 - f) Los símbolos de las constantes, variables

- y funciones, en letras latinas básicas o griegas, incluidos en las ecuaciones deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación.
- g) Si se desea resaltar palabras o frases del texto, debe usar negrilla o cursiva. Ejemplo: negrilla cursiva.
- h) Toda figura debe llevar una leyenda, digitada debajo de la figura, pero fuera de la figura misma. La leyenda debe escribirse tipo oración. Ejemplo: Figura 2. Micrografía SEM en la sección transversal de la muestra.
- i) Las figuras deben ir enumeradas, en estricto orden de mención en el artículo.
- j) Usar arial 9 para las leyendas y, cuando sea posible, para los componentes de las figuras.
- k) Las figuras y tablas deben elaborarse utilizando las funciones predeterminadas en word.
- l) Los números decimales deben señalarse con coma (,) y los millares y millones con punto (.).
- m) Los gráficos, figuras y fotografías deben ser utilizados en colores y con resolución mayor a 250 pixeles.
8. Las referencias bibliográficas se circunscriben al final del artículo, ordenadas alfabéticamente, y deben ser debidamente citadas dentro del texto según las Normas APA, 2014. Ejemplo de citación dentro del texto: (Den, 1982).
 9. Evite las notas de pie de página; en caso de ser necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
 10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsiguiente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.
 11. La Revista recibe el documento, lo revisa y lo envía a los editores; si estos lo avalan, será enviado a valoración por árbitros seleccionados de la base de datos de Colciencias, SciELO, Dialnet, Doaj, quienes podrán solicitar los ajustes necesarios para su publicación o descartar el documento. Luego de la evaluación, se informará a los autores, mediante carta, si el artículo fue aceptado o no. En caso de ser aceptado, el autor deberá atender las respectivas correcciones de los evaluadores en un término no mayor a las 2 semanas siguientes a su recibo.
 12. A la versión final del artículo, revisada por los autores después del proceso de evaluación, se le debe anexar el formato de cesión de derechos de autor a la revista (Formato 9230-SI-F-324) debidamente diligenciado. De no ser así, se asume la aprobación por parte de los autores de las condiciones allí expuestas.
 13. Los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.
 14. Como derechos de autor se reconoce un ejemplar de la revista en la cual se publica la colaboración, enviando un ejemplar a cada autor.

Clasificación de artículos

Los siguientes conceptos son tomados de COLCIENCIAS ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO. Sólo los documentos recibidos de tipo **1, 2 y 3** serán publicados en la revista INFORMADOR TÉCNICO, en proyecto de indexación ante Colciencias, Base Bibliográfica Nacional Publindex.

Artículo de investigación científica y tecnológica (tipo 1)

Relata la manera de delimitar la pregunta de la investigación, el camino para someterla a prueba (análisis estadístico del experimento, protocolos disciplinarios) y la confrontación de los datos generados con la literatura actual.

Artículo de reflexión (tipo 2)

Presenta los resultados de una investigación terminada desde una perspectiva analítica interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

Artículo de revisión (tipo 3)

Es el 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 superior a 50 referencias.

Los artículos deben contar con los siguientes componentes:

Título/Title. Debe ser conciso y al mismo tiempo suministrar información suficiente para que el lector se pueda formar una idea del nivel científico y del interés del estudio. Deben evitarse expresiones como “estudio detallado” o “estudio preliminar”.

Autores. Incluye nombres y apellidos completos de cada investigador; afiliación de los mismos (departamento o sección, facultad o centro experimental, universidad u organización de investigación); dirección postal, ciudad, departamento o estado, país. Indique el correo electrónico, número telefónico/fax, número de celular y dirección de correspondencia del autor que mantendrá correspondencia con el editor.

Resumen/Abstract. En un párrafo que no exceda 250 palabras, sintetiza los objetivos, métodos y resultados del trabajo.

Palabras claves/Key words. Incluir de cinco a seis, sin repetir las del título; digite en cursiva los nombres científicos.

Introducción. Describe brevemente los antecedentes científicos que permitieron formular el problema de la investigación y termina con los objetivos.

Metodología o Materiales y Métodos. Describe la metodología, analítica y estadística de la investigación, de manera que otros investigadores la puedan replicar o que los lectores puedan conocer los límites de interpretación de los datos. Informe la localización espacial del experimento, el origen de los materiales, los cambios en los protocolos habituales. Mencione, en tablas, la composición de protocolos, de medios de cultivos *in vitro*, etc. Si realiza experimentos, enuncie diseño; tratamientos, repeticiones, variables de respuesta, frecuencia de mediciones. La utilización incorrecta o inadecuada de los métodos estadísticos es inaceptable. Evite escribir los tratamientos estadísticos corrientes (comparación de medias, análisis de varianza, etc.), más bien incluya la referencia pertinente. Describa los modelos estadísticos y el diseño experimental (clases, bloques y/o unidades experimentales). Con el software estadístico, mencione las fuentes de variación.

Resultados. Se pueden ilustrar con tablas o figuras (mapas, gráficos, dibujos, fotografías), pero no los duplique ni repita los datos en los párrafos. Describa brevemente los resultados más importantes a nivel estadístico.

Discusión. Se puede combinar con los resultados. La interpretación se debe basar en los resultados estadísticos y no en apreciaciones personales o subjetivas (evite la especulación) y en las publicaciones científicas que tratan el tema. Discuta los resultados sobresalientes. Evite citar repetidamente los resultados.

Conclusiones. Se explica cómo la hipótesis fue probada exitosamente con los resultados específicos, y evalúa sus posibles repercusiones para el estado de la investigación en el tema.

Agradecimientos. Mencione a las personas que han prestado asesoría técnica o estadística a la investigación, al igual que las fuentes de financiación.

Referencias bibliográficas. Deben incluirse sólo las referencias bibliográficas pertinentes. Las citas y referencias incluidas en el artículo se presentan bajo las normas de la APA 2014.

Citas

Al escribir un artículo, para evitar el plagio, es fundamental identificar claramente qué ideas e información han sido tomadas de otras fuentes o autores, y cuáles son propiamente producto del autor del trabajo. Cada vez que se utilice lo que ha dicho alguien, debe indicarse siempre la fuente y esto se hace mediante las citas o referencias bibliográficas.

El INFORMADOR TÉCNICO sigue las normas de estilo de APA 2014. Se utilizan paréntesis dentro del texto en lugar de notas al pie de página. La cita ofrece información sobre el autor y año de publicación, que conduce al lector a las referencias que se deben consignar al final del documento.

Las citas dentro del texto pueden ser:

- Cita textual o literal: cuando se extraen ideas exactas de un texto. En la cita se debe incluir apellido del autor, año de la publicación y página.
- Cita de parafraseo o no literal: cuando se utilizan las ideas del autor, pero no en forma textual, sino que se expresan en palabras del escritor. En la cita se debe incluir apellido del autor, año de publicación.

Normas para citar los autores dentro del texto:

- Dos autores: sus apellidos separados por "y".
- Tres o más autores: se cita el apellido del primero, seguido la expresión *et al.*
- Autor corporativo: se escribe el nombre de la organización. Ejemplo: los desplazados (ONU, 2012).
- Sin nombre o anónimo: en vez del apellido se escribe la palabra "anónimo".
- Cita de una cita: cuando se ha tenido acceso a fuentes secundarias. Ejemplo: Zapata (citado por Rosales, 2012) determinaron los riesgos...

Referencias

Las referencias son un listado de las fuentes consultadas que aparecen citadas en el texto. Todos los autores citados deben coincidir con la lista de referencias del final. No se debe referenciar un autor que no haya sido citado en el texto y viceversa.

El listado de referencias debe organizarse según el orden alfabético de los apellidos. Para referenciar los volúmenes que debe usar números arábigos y no romanos.

Ejemplos de referencias bibliográficas

Libro

Hacyan, S. (2004). *Física y metafísica en el espacio y el tiempo*. La filosofía en el laboratorio, México DF, México: Fondo Nacional de Cultura Económica.

Libro con editor

Wilber, K. (Ed.) (1997). *El paradigma holográfico*. Barcelona, España: Editorial Kairós.

Libro en versión electrónica

De Jesús Domínguez, J. (1887). *La autonomía administrativa en Puerto Rico*. Recuperado de <http://memory.loc.gov/cgibin/query>

Libro con número DOI

Montero, M. y Sonn, C. C. (Eds.) (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. doi: 10.1007/ 978-0-387-85784-8

Capítulo de un libro

Molina, V (2008). "... es que los estudiantes no leen ni escriben": El reto de la lectura y la escritura en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. En H. Mondragón (Ed.), *Leer, comprender, debatir, escribir. Escritura de artículos científicos por profesores universitarios* (pp. 53-62). Cali, Valle del Cauca: Sello Editorial Javeriano.

Artículos en revistas

Coruminas, M., Roncero, C., Bruguca, E., y Casas, M. (2007). Sistema dopaminérgico y adicciones, *Rev Mukuel*, 44(1), 23-31.

Artículo de revista en línea

Mota de Cabrera, C. (2006). El rol de la escritura dentro del currículo de la enseñanza y aprendizaje del inglés como segunda lengua (esl/efl): Una perspectiva histórica. *Acción Pedagógica*, 15(1), 56-63. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/accionpe/>

Simposios y congresos

Rojas, C. y Vera, N. (Agosto del 2013). ABMS (Automatic BLAST for Massive Sequencing). En H. Castillo (Presidencia), *Biología Computacional y Bioinformática CCBCOL. II Congreso Colombiano* Manizales, Colombia.

Periódico impreso

Manrique Grisales, J. (14 de noviembre del 2010). *La bestia que se tragó Armero*. El Espectador, pp. 16-17.

Periódico en línea

Bonet, E. (2011, 2 de febrero). Miles de personas oran en la plaza Tahrir de El Cairo. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/mundo/africa>

Tesis

Aponte, L. y Cardona, C. (2009). *Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Informes autor corporativo, informe gubernamental

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2012). *Tecnologías de la información y las comunicaciones*. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>

Informe con autoría de una organización gubernamental

Bonet, A. (Junio, 2011). Evolución del estudio y conceptualización de la consciencia. En H. Castillo (Presidencia), *El psicoanálisis en Latinoamérica*. Simposio llevado a cabo en el XXXIII Congreso Iberoamericano de Psicología, Manizales, Colombia.

Los artículos se pueden enviar en archivo digital:

- Por correo electrónico revistaitastin@sena.edu.co;
- A través de la plataforma OJS http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec

- A la siguiente dirección:

Revista Informador Técnico

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Complejo Salomia

Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria
(ASTIN)

Calle 52 No. 2 Bis -15

Cali – Colombia

Tel.: +57 (2) 431 5855 / 431 5800 ext. 22694

Guidelines for publishing articles in the “Informador Técnico” journal

1. Articles submitted to the journal should be original research articles that have not been published previously or simultaneously in other printed or online journals. Articles may be submitted in either English or Spanish.
2. Authors must indicate whether their articles are the product or outcome of ongoing research or completed research. The project’s name, initiation and completion dates, financing entity, and executing entity should be included as footnote.
3. Articles type 1, 2, and 3; should have a maximum of 20 numbered, letter-sized pages and case reports, a maximum of 5, excluding photos, graphics/figures, and tables. Text should be set in Arial font, 11 point, double-spaced.
4. Title pages should include the title of the article in both English and Spanish; full name, nationality, institutional affiliation, and research group of each author, an abstract of 250 words or less in both English and Spanish, and key words (between 5 and 6) in both English and Spanish.
5. To facilitate contact and follow-up, please provide the following information for the corresponding author: email address, phone/fax number, mobile, and correspondence address.
6. The document should be presented as a Word file (version 2000 and above).
7. Special guidelines for typewriting:
 - a) Use full justification, do not leave blank lines between paragraphs, and do not hyphenate words at the end of lines.
 - b) Leave only one (1) space between words and after commas, colons, semi-colons, parenthesis, and periods within paragraphs.
 - c) Do not include page breaks or section ends.
 - d) Use hyphens (-) in the case of compound words, for example theoretical-practical; the en dash (–) to indicate ranges and intervals, with no spaces on either side, for example 2000–2007; and the em dash in the case of clauses, with no spaces on either side, for example: Many trials—although not all—were affected by the heavy rains.
 - e) For equations, use Word’s Equation Editor function set in Arial font, 9 point.
 - f) Use italics for the symbols of constants, variables, and functions, as well as for Latin or Greek letters used in equations. Explain all symbols used in the equation.

- g) Use ***bold italics*** to highlight words or phrases within the text.
 - h) All figures should have a caption, placed below but outside the figure itself. Captions should be written in sentence style, for example: **Figure 2.** SEM micrography in the cross-section of the sample.
 - i) Figures should be numbered strictly in order of citation within the text.
 - j) Use Arial font, 9 point, for figure captions and, when possible, for figure components.
 - k) Use Microsoft Word functions to create figures and tables.
 - l) Use a period (.) for decimals and commas (,) for thousands and millions .
 - m) Use color graphs, figures, and photos. Images should have a resolution of 250 pixels.
8. Bibliographic references are listed in alphabetical order, according to the name of the first author, at the end of the article. All references should be cited within the text according to the 2014 APA Style Guidelines. Example of citation within text: (Den, 1982).
 9. Avoid the use of footnotes. When their use is absolutely necessary, these should only help clarify or complement the research work, providing additional information that the authors believe should be included but without interrupting the continuity of the text.
 10. Write out all abbreviations and acronyms in full the first time they are used in the text and thereafter use only the abbreviation or acronym.
 11. The article submitted to the journal is sent to the Editorial Committee for initial appraisal. If the Committee endorses the manuscript, it is then sent for peer review. Experts are selected from the databases of Colciencias, SciELO, Dialnet, and Doaj, who, after evaluating the manuscript, can approve, request changes or corrections, or discard the document for publication. Authors will be duly informed in writing whether their article has been accepted or not. After receiving notification of acceptance, authors will then have two weeks to address any corrections or changes requested by peer reviewers.
 12. Authors must fill out and annex the Journal Copyright Release Form (Form 9230-SI-F-324) to the final author-revised version of the article, after making any changes or corrections arising in the peer review. If the form is not attached, the journal will assume that the authors agree to these conditions set forth therein.

13. All original documents received are kept as part of the journal's archives.
14. All authors have right to one copy of the journal issue in which their contribution was published . A copy will be sent to each author.

Types of contributions

The following concepts are based on the Colciencias National Bibliographic Index. Only articles types 1, 2, and 3 will be published in the Informador Técnico journal as part of an indexing project before the Colciencias National Bibliographic Base "Publindex".

Scientific and technological research article (type 1)

Presents the results of original research projects, indicating how the research question was addressed, the methods of testing used (statistical experimental analysis, disciplinary protocols), and the confrontation of generated data with that currently found in literature.

Reflection article (type 2)

Presents the results of a completed research project from the authors' analytical, interpretative, or critical viewpoint in relation to a specific topic and in reference to original sources.

Review article (type 3)

Compiles the results of a completed research project in which both published and unpublished research results in the fields of science and technology are analyzed and systematized to share advances and development trends. This type of article is characterized by presenting a carefully compiled bibliographic review of at least 50 references.

Articles should be organized as follows:

Title/Título. The title should not only be concise, but also sufficiently informative so readers can grasp the scientific content of the article and focus of research. Expressions such as "detailed study" or "preliminary study" should be avoided.

Authors. Full name of each researcher should be given with his/her affiliation (department or section, faculty or experimental center, university or research organization) and postal address, city, department or state, country. The email, phone/fax, mobile, and corresponding

address of the corresponding author should also be provided.

Abstract/Resumen. Summarizes objectives, methods, and results in one paragraph, no longer than 250 words.

Key words/Palabras claves. From five to six key words, not included in title if possible; scientific names written in italics.

Introduction. Briefly describe the scientific rationale behind the research problem being addressed. End with objectives.

Methodology or Materials and Methods. Describe the analytical and statistical research methodology used so other researchers can replicate the study or readers can better understand data interpretation thresholds. Indicate the spatial location of the experiment, origin of materials, and modifications of routine protocols. Use tables to present protocols and composition of in vitro culture media, etc. If the study involves experimentation, then indicate design, treatments, replicates, response variables, and frequency of measurement. The incorrect or inappropriate use of statistical methods is unacceptable. Do not describe commonly used statistical treatments (comparison of means, variance analysis, etc.), but rather include pertinent references. Describe statistical models and the experiment design (classes, blocks and/or experimental units). Mention sources of variation of statistical software.

Results. Use tables and figures (maps, graphs, drawings, photos) to illustrate results, but do not duplicate or repeat the data presented in the text. Briefly describe the most important statistical results.

Discussion. Can be combined with the section on results. Interpretation should be based on statistics, not on personal or subjective appraisals (avoid speculations), as well as on relevant scientific publications. Discuss outstanding results. Avoid repetitive citation of results.

Conclusions. Explain how the hypothesis was successfully proven, giving specific results, and assess the potential impact on the status of research on the topic.

Acknowledgements. Mention those individuals or organizations that provided technical assistance or statistical support as well as sources of funding.

Bibliographic references. Only include pertinent bibliographic references. Citations and references in article must comply with the 2014 APA Style Manual.

Citations

When writing an article, to avoid plagiarism, it is essential to clearly identify those ideas and information that were taken from other sources or authors, and which were generated by you as authors during the execution of your research. Whenever you use what someone else has said, you should always indicate the source whether as citation or as bibliographic reference.

The *Informador Técnico* journal follows the 2014 APA Style Manual for citing references in text, which is based on the author-date citation system that consists of including the author's surname and the date of publication within parenthesis, instead using footnotes or endnotes. This system allows readers to readily find the complete reference in the pertinent section at the end of the document.

Citations within the text can be:

- **Textual or literal**, when you literally extract a segment from another text to use in your article. Separate literal quotations from the text of your article with quotation marks, quotations must match source document word for word and must be attributed to original by indicating author, year of publication, and page where text was extracted from.
- **Paraphrasing or non-literal citation**, when you take a passage from the work of another author and put it into your own words. The original source must be acknowledged by indicating author's surname and the year of publication.

Guidelines to cite authors within the text:

- Two authors: Surnames separated by "and".
- Three or more authors: Cite surname of first author, followed by the expression et al.
- Corporate author: Place name of organization. Example: Los desplazados (ONU, 2012).
- No name or autonomous: Instead of surname, use the word "anonymous".
- Citation of a citation: When secondary sources have been accessed, then use the following example as reference: Zapata (cited by Rosales, 2012) determined the risks...

References

The references are a list of source materials consulted that are cited in the text. All references cited in the text should be listed in the Reference section at the end of the document and, vice versa, all references listed in the Reference section should be cited in the text.

The list of references should be organized in alphabetical order of authors' surnames. Use Arabic numbers, not Roman numerals, to indicate volume number.

Examples of bibliographic references

Book

Hacyan, S. (2004). *Física y metafísica en el espacio y el tiempo*. La filosofía en el laboratorio, México DF, México: Fondo Nacional de Cultura Económica.

Book with editor

Wilber, K. (Ed.) (1997). *El paradigma holográfico*. Barcelona, España: Editorial Kairós.

Electronic book

De Jesús Domínguez, J. (1887). *La autonomía administrativa en Puerto Rico*. Retrieved from <http://memory.loc.gov/cgi-bin/query/>

Book with assigned DOI

Montero, M. and Sonn, C. C. (Eds.) (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

Book chapter

Molina, V. (2008). "... es que los estudiantes no leen ni escriben": El reto de la lectura y la escritura en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. In H. Mondragón (Ed.), *Leer, comprender, debatir, escribir. Escritura de artículos científicos por profesores universitarios* (pp. 53-62). Cali, Valle del Cauca: Sello Editorial Javeriano.

Journal article

Coruminas, M., Roncero, C., Bruguca, E., and Casas, M. (2007). Sistema dopaminérgico y adicciones, *Rev Mukuel*, 44(1), 23-31.

Online journal article

Mota de Cabrera, C. (2006). El rol de la escritura dentro del currículo de la enseñanza y aprendizaje del inglés como segunda lengua (esl/efl): Una perspectiva histórica. *Acción Pedagógica*, 15(1), 56-63. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/accionpe/>

Proceedings of symposia and congresses

Rojas, C. and Vera, N. (Agosto del 2013). ABMS (Automatic BLAST for Massive Sequencing). In H. Castillo (Presidencia), *Biología Computacional y Bioinformática CCBCOL*. II Congreso Colombiano Manizales, Colombia.

Printed newspaper article

Manrique Grisales, J. (14 November 2010). La bestia que se tragó Armero. *El Espectador*, pp. 16-17.

Online newspaper article

Bonet, E. (2011, 2 February). Miles de personas oran en la plaza Tahrir de El Cairo. *El Tiempo*. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/mundo/afrika>

Thesis

Aponte, L. and Cardona, C. (2009). *Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Corporate or governmental reports

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2012). *Tecnologías de la información y las comunicaciones*. Retrieved from <http://www.dane.gov.co>

Report of a governmental organization

Bonet, A. (Junio, 2011). Evolución del estudio y conceptualización de la consciencia. In H. Castillo (Presidencia), *El psicoanálisis en Latinoamérica*. Simposio llevado a cabo en el XXXIII Congreso Iberoamericano de Psicología, Manizales, Colombia.

Articles should be submitted in digital format:

- By email to revistaitastin@sena.edu.co
- Using the OJS platform http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec
- By mail to the following address:
Revista Informador Técnico
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
Complejo Salomía
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN)
Calle 52 No. 2 Bis -15
Cali – Colombia
Phone: +57 (2) 4315855 / 4315800 ext. 22694

Estamos Comprometidos con la CALIDAD de la FPI (Formación Profesional Integral)



FORMACIÓN
PROFESIONAL
I N T E G R A L

INVESTIGACIÓN
Y SERVICIOS
TECNOLÓGICOS



NORMALIZACIÓN,
EVALUACIÓN Y
CERTIFICACIÓN DE
COMPETENCIAS
L A B O R A L E S



EMPRENDIMIENTO
Y EMPRESARISMO

SERVICIO DE
INFORMACIÓN
Y DIVULGACIÓN
TECNOLÓGICA



Más trabajo

CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA ASTIN
Calle 52 No. 2Bis - 15
Teléfonos: 57 (2) 431 5847 Ext. 22667 - 22695
Fax: (2) 4471075 - 4467182
www.sena.edu.co
<http://centroastinsena.blogspot.com/>
E-mail: astin@sena.edu.co

INFORMADOR TÉCNICO
Calle 52 No. 2Bis - 15
Teléfonos: 57 (2) 431 5800 Ext. 22694
Email: revistaitastin@sena.edu.co
<http://informadortecnico.senaastin.com>
http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html
Cali, Valle del Cauca, Colombia



Rodolfo Martínez Tono

Fundador del SENA

1928 - 2015



**“Sin calificación de mano de obra,
sin capacitación de trabajadores,
no puede haber desarrollo,
no puede haber progreso social”**

Rodolfo Martínez Tono



El servicio Nacional de Aprendizaje SENA,
el Centro Nacional de Asistencia Técnica a la industria ASTIN,
el Comité editor y los Comités Científico y Editorial de la revista
INFORMADOR TÉCNICO
rinden homenaje al hombre visionario que le dio vida al SENA,
una de las entidades más apreciadas por los Colombianos.

