

Editorial**Disciplinas de la ingeniería colombiana: ¿dignas de exportación?**

Editorial: Colombian Engineering Disciplines: Granted to be Exported?

*Jorge Mario Gaviria-Hincapié***Implementación del Algoritmo Trace Alignment Empleando Técnicas de Programación Paralela**

Trace Alignment Algorithm Implementation Using Parallel Programming Techniques

*Marlis Fulgueira-Camilo**Ernesto Insúa-Suárez**Humberto Díaz-Pando***Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado**

Expert System for Both Pavement Damage Management and Compacted Roads

*Víctor Daniel Gil-Vera***Diversificación Internacional de Portafolios en Colombia por Medio de ETF**

International Portfolio Diversification in Colombia by Means of ETF

*Luis Miguel Jiménez-Gómez**Fred Restrepo-Giraldo**Natalia María Acevedo-Prins***Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM)**

Development and Implementation of an Artificial Vision System Based on Free Use Languages for the Coach System Products on the Integrated Manufacturing Center (IMC)

*Sebastián Amaya-Zapata**David Pulgarín-Velásquez**Ingrid-Durley Torres-Pardo***Generador de Valores de Casos de Prueba Funcionales**

Generator of Values for Functional Test Cases

*Arloys Macías-Rojas**Martha Dunia Delgado-Dapena**Jenny Fajardo-Calderín**Danay Larrosa-Uribazo***Diseño de Vivienda Ecosostenible en el Alto Magdalena de Colombia: Proyecto Innovador para el Desarrollo Sustentable**

Sustainable Housing Design in Colombian Upper Magdalena Region: Innovative Project for Sustainable Development

*Ancizar Barragán-Alturo***Una Revisión Literaria del Problema de Carga del Pallet**

A Literature Review on the Pallet Loading Problem

*Saúl Vargas-Osorio**Catya Zúñiga*FUNDACIÓN
UNIVERSITARIAFacultad de
Ingenierías

©Fundación Universitaria Luis Amigó

Lámpsakos

N°. 15, enero-junio de 2016

ISSN: 2145-4086

Rector

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

Vicerrectora de Investigaciones

Isabel Cristina Puerta Lopera

Director de Programa Ingeniería de Sistemas

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

Jefe Departamento de Fondo Editorial

Carolina Orrego Moscoso

Diagramación y diseño

Arbey David Zuluaga Yarce

Corrector de estilo

Rodrigo Gómez Rojas

Contacto editorial

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

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

www.funlam.edu.co-fondoeditorial@funlam.edu.co

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó.
Hecho en Medellín - Colombia.

Financiación realizada por la Fundación Universitaria Luis Amigó.

LÁMPSAKOS

Director de la revista

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

Coodinador del N°. 15

Jorge Andrés Cock Ramírez

Comité Científico

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

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

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

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

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

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

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

Comité Editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comité de Árbitros de la Edición

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, sistemas de información, ingeniería de requerimientos, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, sistemas inteligentes, control, automatización y robótica, ciber-seguridad, ingeniería ambiental, gestión de recursos hidráulicos, gestión del agua, eficiencia energética, simulación de sistemas, investigación de operaciones, gestión del conocimiento en ingeniería, educación en ingeniería, gerencia de proyectos, control de procesos, química, desarrollo de materiales, termodinámica, mercados de la energía, física, nanotecnología, estrategias de mantenimiento industrial, modelos computacionales, urbanismo y paisajismo arquitectónico.

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

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed on engineering. The journal publishes papers of scientific, professional and technological fields such as Computer Science, Information Systems, Software Requirements, Electronics Engineering, Electrical Engineering, Intelligent Systems, Control, Automation and Robotics, Cyber Security, Environmental Engineering, Water Resources Management, Water Management, Energy Efficiency, System Simulation, Operations Research, Engineering Knowledge Management, Education, Engineering, Project Management, Process Control, Chemistry, Materials Development, Thermodynamics, Energy Markets, Physics, Nanotechnology, Industrial Maintenance Strategies, Computational Models, Urbanism and Architecture.

Edición

Fundación Universitaria Luis Amigó.

Solicitud de canje

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

Para sus contribuciones

lampsakos@funlam.edu.co

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

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

CONTENIDO

Editorial Disciplinas de la ingeniería colombiana: ¿dignas de exportación?	7
<i>Jorge Mario Gaviria-Hincapié</i>	
Implementación del Algoritmo Trace Alignment Empleando Técnicas de Programación Paralela ..	11
<i>Marlis Fulgueira-Camilo</i> <i>Ernesto Insúa-Suárez</i> <i>Humberto Díaz-Pando</i>	
Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado	22
<i>Víctor Daniel Gil-Vera</i>	
Diversificación Internacional de Portafolios en Colombia por Medio de ETF	30
<i>Luis Miguel Jiménez-Gómez</i> <i>Fred Restrepo-Giraldo</i> <i>Natalia María Acevedo-Prins</i>	
Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM)	43
<i>Sebastián Amaya-Zapata</i> <i>David Pulgarín-Velásquez</i> <i>Íngrid-Durley Torres-Pardo</i>	
Generador de Valores de Casos de Prueba Funcionales	51
<i>Arloys Macías-Rojas</i> <i>Martha Dunia Delgado-Dapena</i> <i>Jenny Fajardo-Calderín</i> <i>Danay Larrosa-Uribazo</i>	
Diseño de Vivienda Ecosostenible en el Alto Magdalena de Colombia: Proyecto Innovador para el Desarrollo Sustentable	59
<i>Ancizar Barragán-Alturo</i>	
Una Revisión Literaria del Problema de Carga del Pallet	69
<i>Saúl Vargas-Osorio</i> <i>Catya Zúñiga</i>	

CONTENTS

Editorial Colombian engineering disciplines: ¿granted to be exported?	7
<i>Jorge Mario Gaviria-Hincapié</i>	
Trace Alignment Algorithm Implementation Using Parallel Programming Techniques	11
<i>Marlis Fulgueira-Camilo</i> <i>Ernesto Insúa-Suárez</i> <i>Humberto Díaz-Pando</i>	
Expert System for Both Pavement Damage Management and Compacted Roads	22
<i>Víctor Daniel Gil-Vera</i>	
International Portfolio Diversification in Colombia by Means of ETF	30
<i>Luis Miguel Jiménez-Gómez</i> <i>Fred Restrepo-Giraldo</i> <i>Natalia María Acevedo-Prins</i>	
Development and Implementation of an Artificial Vision System Based on Free Use Languages for the Coach System Products on the Integrated Manufacturing Center (IMC)	43
<i>Sebastián Amaya-Zapata</i> <i>David Pulgarín-Velásquez</i> <i>Íngrid-Durley Torres-Pardo</i>	
Generator of Values for Functional Test Cases ..	51
<i>Arloys Macías-Rojas</i> <i>Martha Dunia Delgado-Dapena</i> <i>Jenny Fajardo-Calderín</i> <i>Danay Larrosa-Uribazo</i>	
Sustainable Housing Design in Colombian Upper Magdalena Region: Innovative Project for Sustainable Development	59
<i>Ancizar Barragán-Alturo</i>	
A Literature Review on the Pallet Loading Problem	69
<i>Saúl Vargas-Osorio</i> <i>Catya Zúñiga</i>	

EDITORIAL

Disciplinas de la ingeniería colombiana: ¿dignas de exportación?

Colombian Engineering Disciplines: Granted to be Exported?

Jorge Mario Gaviria-Hincapié, MSc

Fundación Universitaria Luis Amigó

Medellín, Colombia

jorge.gavirahi@amigo.edu.co

(Recibido el 17-11-2015. Aprobado el 10-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

J.M. Gaviria-Hincapié, "Editorial: Disciplinas de la ingeniería Colombiana: ¿dignas de exportación?", *Lámpsakos*, No. 15, pp 7 - 9, 2016.

Recientemente una estudiante de ingeniería informática, procedente de la Universidad Nacional Autónoma de México, quien se encuentra realizando un periodo de pasantía en la ciudad de Medellín, me comentó que había elegido esta ciudad para venir a estudiar por su contraste y relación con la naturaleza. Me causó una curiosidad tal, que luego, mientras recorría las calles, observaba con detenimiento la forma como la ciudad se amalgama con la naturaleza. Comencé a observar sus signos, símbolos, representaciones y manifestaciones. Lo anterior, permitió conducir a la formulación de la siguiente pregunta: ¿Cuál es la disciplina de la ingeniería por la que es más reconocida Colombia?, ¿Qué disciplina es la que más identifica a nuestro país?

Haciendo un inventario de reconocimiento sobre obras ingeniosas foráneas, reconozco la capacidad de los ingenieros holandeses para la construcción ganándole terreno al mar, la capacidad industrial de los ingenieros alemanes y sus plantas robotizadas para la producción de manufacturas y para la producción de medicamentos. Los ingenieros japoneses inspiran respeto por la forma como han demostrado

su ingenio con la electrónica. Ni qué hablar de los ingenieros de software procedentes de la India, o el ingenio español para implementar medios de transporte eléctrico. Lo anterior, sólo para mencionar algunos ejemplos.

Al momento de participar en procesos de ingreso de estudiantes a la Universidad Funlam, en el proceso de entrevistas siempre indagamos por esas profundas motivaciones que llevan a los jóvenes a elegir programas de ingeniería. Esperaría respuestas que se aproximen a resolver problemas y necesidades propias de nuestro país (Colombia), pero las motivaciones y respuestas, en ocasiones son tan obtusas como las visiones.

Aunque intentar hacer juicios y diagnósticos apresurados, podría ser irresponsable, considero sin embargo que estos resultados obedecen a una educación permeada por múltiples propuestas con enfoques de enseñanza fallidos, intentos innovadores que se piensan en clave de tecnología y producción, sin pensar en la formación de sujetos críticos.

Colombia requiere modelos de educación con propuestas originales que supere la implementación de modalidades obsoletas y que permitan superar el miedo a transformar la forma de enseñar, modelos que procuren invertir en investigación, innovación y ciencia para superar la visión instrumental sobre “capital humano”.

Los modelos educativos en la Escuela y la secundaria requieren la formación de sujetos capaces de hacer lectura del entorno social; requieren la enseñanza para el reconocimiento de símbolos y signos, es decir, “enseñar a pensar”. Lo anterior, con especial orientación a la identificación de fenómenos que están afectados por situaciones históricas, políticas, económicas, tecnológicas, entre otras.

En este sentido Paul Freire afirmaba: “Lucho por una educación que nos enseñe a pensar y no por una educación que nos enseñe a obedecer” [1]. Las posibilidades que brindan las tecnologías de la Información y comunicaciones TIC, implican pasar del pensamiento lineal al pensamiento en arabesco, como lo plantea Hervé Fisher [2] con implicaciones que determinan cambios en los cánones con los que se ha construido la enseñanza de valores republicanos a través de la literatura.

Por ello es ineludible analizar fenómenos como “El complejo de ilegitimidad” de Fernando González, quien a mediados del siglo XX y en el marco de la pedagogía intentaba explicar el origen de la apatía sentida en la institucionalidad por los modelos implantados o “copiados”, por los entonces administradores de los cánones y quienes a través de la literatura, pretendía adoctrinar hordas institucionalizadas [3]. El mismo Fernando González en “Los Negroides. Ensayo sobre la Gran Colombia” a propósito de su concepción sobre pedagogía comentaba [3]:

“La pedagogía consiste en la práctica de los modos para ayudar a otros a encontrarse; el pedagogo es partero. No lo es el que enseña, función vulgar, sino el que conduce a los otros por sus respectivos caminos hacia sus originales fuentes. Nadie puede enseñar; el hombre llega a la sabiduría por el sendero de su propio dolor, o sea, consumiéndose.”

Las reflexiones de estos pensadores en las ciencias sociales, pueden constituir un punto de apoyo para influir en la educación de los futuros ingenieros. La lectura debe constituir una segunda aproximación

al mundo, después de la observación de un entorno, para el reconocimiento de una proximidad o de una distancia. Un segundo momento fundamental después del aprestamiento en el ámbito pre-escolar, pero con aditamentos, prótesis tecnológicas que han creado nativos digitales, quienes han redefinido la distancia con nuevos medios electrónicos. La virtualización, una distancia que acerca y crea relaciones.

En nuestra concepción del canon literario occidental [4], presentado en los libros de texto para la enseñanza de la literatura, es necesario anotar que el mismo ha sido formulado a partir de los valores que los administradores del capital cultural consideran trascendentales para la formación de la sociedad [5]. Sin embargo el hecho literario se evidencia fallido, frustrante por la ausencia del *disfrute* como resultado del proceso de enseñanza–aprendizaje. Este debería estar orientado hacia el encuentro del goce estético por parte del lector y no al padecimiento por la imposición de su abordaje.

Muchas voces insisten en la necesidad que tiene la sociedad de tener ingenieros y quienes tenemos la fortuna de hacer parte de alguna facultad de ingeniería vemos cómo cada vez son menos los jóvenes que acuden al clamor social para formarlos.

Desde algunas universidades de la ciudad de Medellín, se han premiado ideas innovadoras muy interesantes, fruto del trabajo de sus estudiantes (por ejemplo, ladrillos solares, diseños de autos, prototipos en transporte, desarrollos informáticos, etc.) que han generado reconocimientos importantes en eventos internacionales. Esto evidencia que hay esperanza que motiva al problema de la demanda.

Mantener un modelo educativo obsoleto, tener miedo a transformar la forma de enseñar, invertir poco en investigación y ciencia y subvalorar el capital humano son cuatro factores que pueden incidir directamente en la formación de nuestros futuros Ingenieros.

Aún encuentro profesionales que no hacen respetar la profesión; necesitamos formar un ingeniero generalista que pueda aplicar creativamente soluciones a problemas colombianos, conociendo nuestro entorno y estimulando la conservación y mejora del mismo.

REFERENCIAS

- [1] P. A. Kaak, "Power-Filled Lessons for Leadership Educators from Paulo Freire," *J. Leadersh. Educ.*, vol. 10, no. 1, pp. 132–144, 2011.
- [2] H. Fischer, *Planeta Hiper*, Primera. Buenos Aires, Argentina: Eduntref, 2011.
- [3] F. Gonzalez Ochoa, *Los Negroides*, Primera Ed. Envigado, Antioquia, 2002.
- [4] I. Avelar, "La construcción del canon y la cuestión del valor literario," *Aisthesis*, vol. 46, pp. 213–221, 2009.
- [5] J. O. Gomez, "Macroproyecto: Literatura, Hipertextos y Formación.," Documento Maestría Literatura UPB, 2015. Disponible en: http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=1054,52456341&_dad=portal

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Implementación del Algoritmo Trace Alignment Empleando Técnicas de Programación Paralela

Trace Alignment Algorithm Implementation Using Parallel Programming Techniques

Marlis Fulgueira-Camilo, MSc.

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

Ernesto Insúa-Suárez, Ing.

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

Humberto Díaz-Pando, PhD.

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

(Recibido el 20-10-2015. Aprobado el 16-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

M. Fulgueira-Camilo, E. Insúa-Suárez, H. Díaz-Pando, "Implementación del Algoritmo Trace Alignment Empleando Técnicas de Programación Paralela", *Lámpsakos*, no. 15, pp 11 - 21, 2016

Resumen. En este artículo se refiere un algoritmo del campo de la minería de procesos, Trace Alignment, cuyo objetivo es detectar anomalías en una secuencia de patrones e identificar patrones comunes. El análisis de las trazas generadas por los procesos de negocios puede tardar un tiempo considerable, teniendo en cuenta que una gran parte de los procesos, hoy en día, se encuentran informatizados. El algoritmo en cuestión es paralelizado empleando el paradigma de memoria compartida, específicamente OpenMP, CUDA y OpenCL. El diseño paralelo propuesto cuenta de dos etapas: una primera donde se paraleliza la construcción de la matriz de similitud y una segunda donde se alinean pares o conjuntos de trazas a la misma vez. Los resultados obtenidos indican que, con el diseño propuesto, los mejores tiempos se obtienen empleando OpenMP para todos los juego de datos propuestos.

Palabras clave: CUDA, Minería de Procesos, OpenCL, OpenMP, Trace Alignment.

Abstract. The article refers to an algorithm in the field of mining processes, Trace Alignment, aimed at detecting anomalies in a sequence of patterns and identify common patterns. The analysis of the traces generated by the business process may take considerable time, given that a large part of the process, today, are computerized. The algorithm in question is parallelized using the shared memory paradigm, specifically OpenMP, CUDA and OpenCL. The parallel proposed design has two stages: a first construction where the similarity matrix and a second where pairs or sets of traces at the same time is aligned. The results indicate that, with the proposed design, the best times are obtained using OpenMP.

Keywords: CUDA, OpenCL, OpenMP, Process Mining, Trace Alignment.

1. INTRODUCCIÓN

La Minería de Procesos (MP) es una técnica de administración de procesos que permite analizar registros de eventos, extraer información y convertirla de forma explícita en conocimiento. A su vez se divide en tres técnicas fundamentales: Descubrimiento de Procesos, Chequeo de Conformidad y Mejoramiento de Modelos. La técnica de Chequeo requiere comparar el registro de trazas almacenado contra un modelo para comprobar si se ha ejecutado el proceso conforme a lo esperado [1], [2]. El Trace Alignment [3] clasifica dentro de la MP como algoritmo para el Chequeo de Conformidad. Las pruebas realizadas, teniendo en cuenta el número de trazas a procesar por el algoritmo, demostraron que el tiempo de ejecución aumenta conforme a dicho número.

Otro factor que influye en el tiempo de procesamiento es la marcada diferencia que en ocasiones pueden tener las trazas. Una de las posibles soluciones al problema descrito es la computación paralela y distribuida, la cual hace uso de técnicas y herramientas que pueden disminuir, en el mayor número de los casos, el tiempo de ejecución de los algoritmos [4]. El objetivo general de la investigación es disminuir el tiempo del algoritmo Trace Alignment, para lo cual se realiza un diseño paralelo del algoritmo y se implementa empleando OpenMP, OpenCL y CUDA.

2. MARCO TEÓRICO

El crecimiento de la capacidad de almacenamiento de los sistemas de cómputo ha hecho posible que las organizaciones puedan registrar y analizar los eventos ocurridos de los procesos de negocios que en ellas realicen. A través de la MP se puede identificar violaciones en los procesos de negocios, definir cuellos de botella y recomendar medidas para el mejoramiento del proceso [1].

Uno de los métodos que pueden apoyar la técnica de Chequeo es la alineación de las trazas. El algoritmo Trace Alignment tiene como antecedente a la alineación de secuencias en el campo de la bioinformática [3]. En este ambiente se alinean pares o múltiples secuencias. La característica principal de la alineación de secuencias biológicas, es que son secuencias muy largas, por el orden de los miles [5]-[8]. En cambio en la Minería de Procesos, específicamente

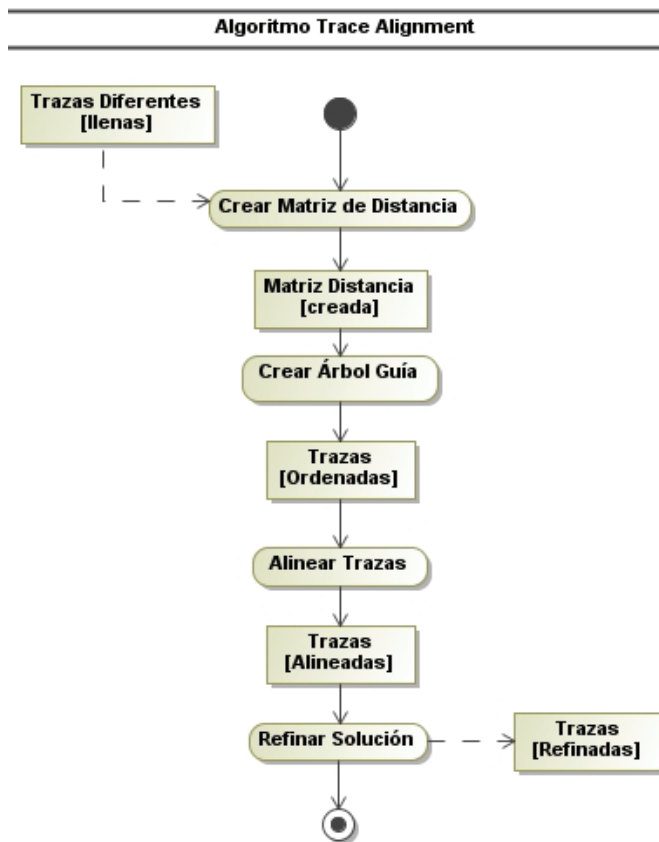


Fig. 1 Diagrama de Actividad del algoritmo Trace Alignment.

en el caso de estudio de este trabajo, la traza más larga contiene solo 50 caracteres, pero la cantidad de trazas a alinear si está en el orden de los miles.

El alineamiento de las trazas permite identificar el comportamiento común o más probable del proceso ejecutado, la ocurrencia de desviaciones, patrones comunes de ejecución, los contextos en que una o varias actividades son ejecutadas y patrones especiales, como ocurrencia de actividades simultáneas en el proceso .

2.1. Análisis del algoritmo Trace Alignment

El algoritmo cuenta con cuatro pasos [3] representados en la fig. 1, cuyos pasos se describen posteriormente.

Paso 1. Calcular la matriz de distancia: las alineaciones son sensitivas al tipo de métrica empleada. La métrica empleada en este trabajo está determinada por la distancia de Levenshtein [9], la cual permite

Actividad: Crear Matriz Distancia

```

Require: All traces different, T
1: Let m be the distance matrix
2: Let n the length of T
3: Let count the size of the row matrix to fill
4: Let d_temp the distance between two traces
5: for all traces Ti in T do
6:   for all traces Tj in T < count do
7:     d_temp=Levenshtein(Ti, Tj, i, j)
8:     m[i][j] = d_temp
9:     m[j][i] = d_temp
10:   end for
11: end for
    
```

Fig. 2 Seudocódigo de la actividad crear Matriz de Distancia.

Actividad: Crear Árbol Guía

```

Require: All traces different, T
1: Let m be the distance matrix
2: Let n the length of T
3: Let min_dist the distance minimum of all traces
4: Let col the column of matrix who have the minimum distance
5: Let row the row of matrix who have the minimum distance
6: let temp_T all traces order by distance
7: let count the control variable who start in 0
8: while count < n-1 do
9:   for all traces Ti in T < count do
10:    if m[col][i] < min_dist && col != i
11:      min_dist = m[col][i]
12:      row = i
13:    end if
14:   end for
15:   temp_T = T[col]
16:   col = row
17: end while
    
```

Fig. 3 Seudocódigo de la actividad crear Árbol Guía.

identificar cuáles son las trazas más cercanas entre sí. Tiene la característica principal de ser una matriz simétrica. La fig. 2 muestra el procedimiento descrito.

Paso 2. Crear un árbol guía: la matriz de distancia previamente calculada es usada para construir el árbol guía, el cual determina el orden en que se alinean las trazas. La fig. 3 muestra el pseudocódigo del paso.

Paso 3. Alinear progresivamente las trazas: Este paso se caracteriza por alinear en una primera instancia los pares de trazas, donde se crea una matriz por cada par o conjunto de trazas a alinear, llamada matriz de puntuación. Rara vez las trazas a alinear tienen el mismo tamaño. Una vez alineados los pares, se alinean los conjuntos más cercanos.

La matriz creada, por cada conjunto a alinear, es la matriz de alineamiento. Primeramente es necesario calcular la primera fila y columna de la matriz, luego se calcula uno a uno los elementos restantes co-

Actividad: Alinear Trazas

```

Require: Σj set of traces to align, T
1: Let m be the length of the alignment A
2: Let n be the length of the alignment B
2: Let MScore the matrix who have the score of alignment
3: for i = 2 to m do
4:   CalculateFrequency(i-1, trace)
5:   MScore[i][0] = MScore[i-1][0] + OperationIndel(trace[i], trace[i-1])
6: end for
7: for j = 2 to m do
8:   CalculateFrequency(j-1, trace)
9:   MScore[0][j] = MScore[j-1][0] + OperationIndel(trace[j], trace[j-1])
10: end for
11: for i = 1 to m do
12:   for j = 1 to n do
13:     MScore[i][j] = FillMScore(MScore[i-1][j-1], MScore[i-1][j], MScore[i][j-1], T)
14:   end for
15: end for
16: TraceBack(MScore, T)
    
```

Fig. 4 Seudocódigo de la actividad crear Alinear Trazas.

Actividad: Refinar solución. Algoritmo Block Shift Refinement

```

Require: An alignment, A
1: Let m be the length of the alignment
2: Let Σj denote the set of activities in column j of A
3: for all aligned traces Ti in A do
4:   for j = 1 to m do
5:     if there exist a block of gap of length p (p ≥ 1) starting at j in Ti
6:       then
7:         if there exist a k, such that j ≤ k < j+p and A(i, j+p) ∈ Σk
8:           then
9:             swap A(i, k) and A(i, j+p). Set j = k
10:          else
11:            set j = j + p - 1
12:          end if
13:        end if
14:      end for
15:    end for
16: Remove any column from A that contains only the gap symbol
    
```

Fig. 5 Seudocódigo de la actividad refinar solución.

menzando por la segunda fila. Cada elemento de la matriz necesita los elementos $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$ y $(i, j-1)$ para obtener su valor.

Una vez calculada, para encontrar el alineamiento, es necesario buscar el camino que mejor puntuación tenga, para lo cual de la posición (i, j) se transita hacia la posición $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$ o $(i, j-1)$ siempre buscando el valor mayor que contenga cada celda. El movimiento hacia la posición $(i-1, j-1)$ significa $T_1(i)$ y $T_2(j)$; hacia la posición $(i-1, j)$ significa $T_1(i)$ y el símbolo de hueco $(-)$; y hacia la posición $(i, j-1)$ símbolo de hueco $(-)$ y $T_2(j)$. El recorrido termina cuando se llega a la posición $(0,0)$. El procedimiento descrito se llama *TraceBack* [3]. La fig.4 muestra el pseudocódigo de la actividad Alinear Trazas.

Paso 4. Refinar el resultado final, que puede contener columnas completas de guiones o actividades muy distantes unas de otras, lo que dificulta la comprensión del proceso. El algoritmo Block Shift Refine-

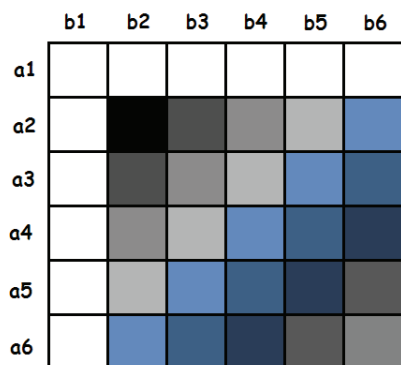


Fig. 6 Método de onda

ment [3] es el encargado de remover estas columnas y mover las actividades sin violar el orden en que fueron realizadas. La idea básica es considerar cada traza del alineamiento de izquierda a derecha e intercambiar cada actividad que se encuentre precedida por un bloque de “-” lo más a la izquierda posible en esa misma traza, coincidiendo con la misma actividad en otra traza del alineamiento final. La fig. 5 muestra el procedimiento descrito.

El algoritmo se encuentra implementado en C/C++ empleando el entorno de desarrollo Visual Studio 2012. El compilador que se emplea es Visual C++ 11.0.

2.2. Antecedes del algoritmo Trace Alignment

El algoritmo para alinear trazas tiene como antecedentes la alineación de secuencias biológicas [3]. El siguiente acápite realiza un estudio del estado del arte de los algoritmos de este tipo que emplean técnicas de programación paralela.

Los artículos [5], [6], [10] presentan varios algoritmos paralelizados para alinear pares de secuencias biológicas. La técnica frente de onda (ver fig. 6) es ampliamente empleada en varios documentos como son [5]-[7]. Hace referencia a la matriz de alineamiento donde cada elemento a calcular depende de sus vecinos (ver paso 3). Básicamente lo que plantea la técnica, es calcular los elementos que se encuentren en la misma diagonal a la misma vez, puesto que ya debieron calcularse los elementos necesarios para el nuevo cálculo. La fig. 6 muestra dos secuencias $S_1 = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ y $S_2 = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6\}$, los elementos representados con el mismo color,

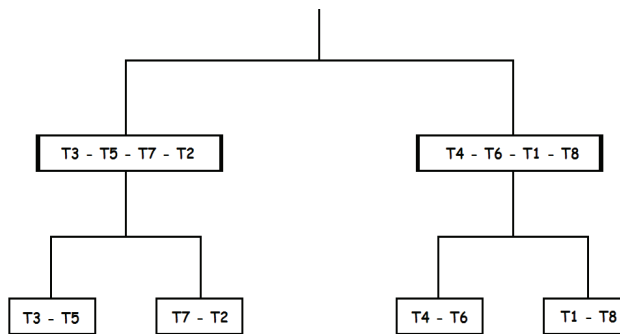


Fig. 7 Árbol guía para alinear trazas.

que pertenecen a cada diagonal, son los únicos que pueden calcularse paralelamente. Solo es posible calcular una diagonal en cada iteración.

Los algoritmos para alinear múltiples secuencias generalmente paralelizan la matriz de distancia empleando un ambiente distribuido y localmente cada nodo calcula los alineamientos de secuencias biológicas que le fueron asignados [11], [12].

2.3. Diseño paralelo del algoritmo Trace Alignment

El caso de estudio para el cual se analiza el diseño paralelo que se presentará, se enmarca en las trazas generadas por un proceso de negocio. Las trazas se guardan en bases de datos, de las cuales solo se alinean las trazas que sean diferentes. Las trazas más largas contienen solo 49 caracteres y las más cortas tienen 1 solo carácter. A pesar de que las bases de datos contienen miles de trazas solo diferentes tienen 4350.

Se propone en el presente artículo paralelizar la construcción de la matriz de distancia y alinear los pares o conjuntos de trazas a la misma vez; a continuación se describe el proceso seguido:

Matriz de distancia. La matriz S o matriz de distancia es una matriz de orden $N \times N$, donde N es el total de trazas a alinear. Cada uno de los elementos $S(i,j)$ de la matriz puede ser calculado independientemente. Se pretende calcular la distancia de Levenshtein por cada elemento $S(i,j)$ (la distancia entre T_1 y T_2 es la misma que entre T_2 y T_1) paralelamente.

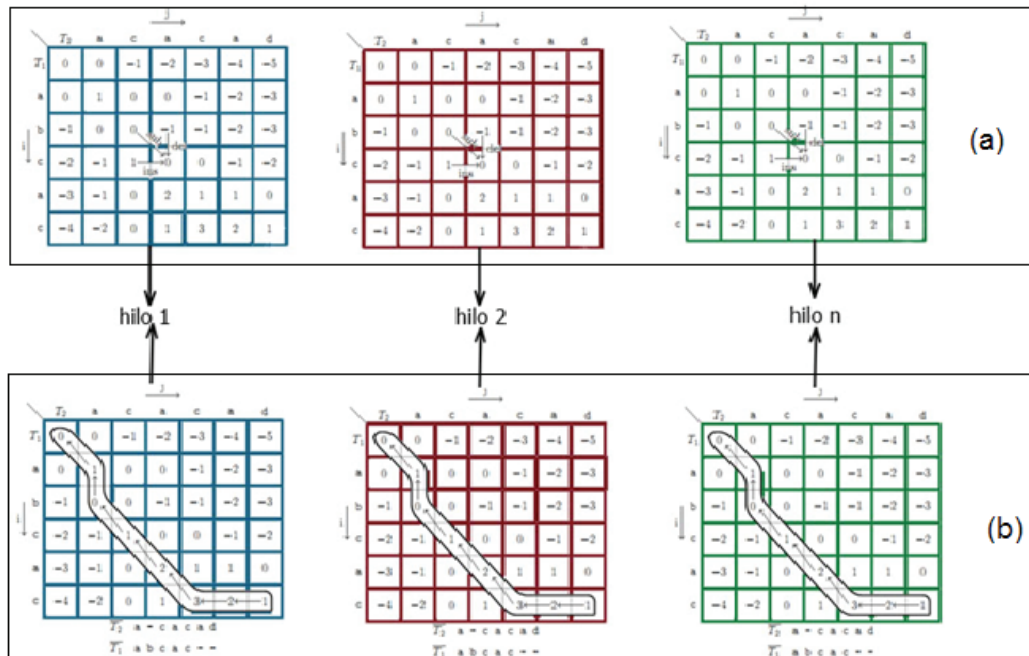


Fig. 8 Diseño propuesto para implementar paralelamente la alineación de las trazas.

Alinear pares o conjuntos de trazas. Los pares de trazas en el mismo nivel del árbol son independientes entre sí, por lo que pueden ser alineados paralelamente. La Fig. 7 muestra que las trazas T3-T5, T7-T2, T4-T6 y T1-T8 se pueden alinear a la misma vez. Una vez calculadas, se pueden alinear paralelamente también los conjuntos T3-T5-T7-T2 y T4-T6-T1-T8.

El principal problema es que a medida que se vayan alineando conjuntos, menor cantidad de elementos de procesamiento son necesarios. Tanto es así que la alineación del último conjunto se hará de forma secuencial. Es en este último paso donde más debe demorar la alineación, puesto que las trazas son más largas por la introducción de guiones y porque en este es donde se realiza el alineamiento final de solución.

Tabla 1.

Bibliotecas de programación

Memoria Compartida	Memoria Distribuida
OpenMP (CPU)	MPI (CPU)
Cuda (GPU)	PVM (CPU)
OpenCL (CPU-GPU)	

3. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO PARALELO

3.1. Modelos de Programación Paralela

Existen dos modelos principales de programación paralela, aunque es posible emplear un híbrido entre los dos. Ambos modelos se especifican a continuación [13], [14]:

Modelo de memoria compartida: todos los procesadores comparten la misma zona de memoria.

Modelo de memoria distribuida o paso de mensajes: cada procesador tiene su zona de memoria que no puede ser accedida por el resto de los procesadores.

Tabla 2.

Hardware empleado para la realización de las pruebas

Hardware	Tipo	CPU/GPU			Memoria					
		Unidad de cómputo	Elemento de cómputo	Reloj (MHZ)	Tipo	Tamaño (MB)	Reloj (MHZ)	Ancho de BUS (bits)	Ancho de banda (GB/s)	
Intel Core 2 Duo E7300	CPU	2	2	2600	DDR2	2048	800	64	12.4	
Intel Core 2 Quad Q9300	CPU	4	4	2500	DDR2	4096	800	64	12.4	
Intel Core i7 920	CPU	4	8	2670	DDR3	6144	1066	64	25.5	
nVidia Geforce GTX 260	GPU	27	216	1242	DDR3	896	1998	448	111.9	
nVidia Geforce GTX 550 Ti	GPU	4	192	1800	DDR5	1024	4104	192	98.5	

Las bibliotecas de programación paralela clasifican dentro de estos modelos, algunas de las cuales se especifican en la Tabla 1. La selección de estas bibliotecas se realiza teniendo en cuenta el lenguaje de programación C++.

Una primera instancia de implementación del algoritmo se realiza empleando las bibliotecas descritas en la Tabla 1 clasificadas como modelo de memoria compartida.

La implementación del algoritmo empleando OpenMP [15-18], CUDA [19-21] y OpenCL[22-24] se caracteriza a continuación:

OpenMP: se emplean Visual C++ que brinda soporte para el estándar OpenMP 2.0.

CUDA: controlador gráfico de NVIDIA 334.89, CUDA GPU Computing SDK y Toolkit 5.5.20.

OpenCL: controlador gráfico de NVIDIA 334.89 e Intel SDK para aplicaciones OpenCL 2013 v3.0.

Debido al tamaño que alcanza la matriz de distancia (2.85 GB) se decide paralelizar el cálculo de los elementos de la matriz con OpenMP. Cada hilo del procesador disponible ejecutará $[n(n-1)2]/p$, siendo n la cantidad de trazas que se desea alinear y p la cantidad de hilos disponibles en la arquitectura de hardware.

La implementación de los pares o conjuntos de trazas a alinear se implementa con OpenMP, Cuda y OpenCL. La fig. 8 muestra el procedimiento seguido por cada hilo. Cada hilo, $1, 2, \dots, n$ (Referente a la Fig. 8) debe calcular la matriz de alineamiento y luego obtener el resultado de la alineación.

La primera iteración requiere que cada hilo ejecute $\frac{n}{2}/p$ pares de alineaciones, la segunda iteración $\frac{n}{4}/p$, así sucesivamente hasta llegar a la última iteración. Si en cada una de las iteraciones, siendo $x = \text{iteración} + 1, (n/x) \geq p$ todos los hilos trabajarían; si por el contrario no se cumple esa condición en cada iteración solo se estaría aprovechando n/x hilos disponibles, aun cuando la arquitectura de hardware provea más.

El hecho de que los dispositivos Cuda y OpenCL no permitan la creación de memoria dinámica dentro de ellos requiere que se hagan modificaciones al código.

Teniendo en cuenta la fig. 8 (a) se necesita combinar las n matrices de alineamiento como un único arreglo lineal, conociendo siempre que parte del arreglo pertenece a cada matriz para que cada hilo pueda trabajar con ella. Esta matriz, en forma de arreglo, es la que se transfiere al dispositivo.

Dentro de los dispositivos también se obtiene el resultado del nuevo conjunto alineado (procedimiento *TraceBack* explicado en el paso 3), representado en la fig. 8 (b).

Cómo cada nivel $i + 1$ del árbol guía (ver fig. 7) requiere los resultados obtenidos en los niveles i del árbol, por cada nivel de él, se requieren transferencias entre el dispositivo y la memoria RAM de envío y recibo.

3.2. Resultados y discusión

El acápite valida la implementación realizada, para lo cual se realizan tres experimentos. La métrica empleada para evaluar los experimentos es la aceleración (Speed UP) obtenida en los escenarios de prueba. La métrica indica cuántas veces es más rápido el

Tabla 3.

Tiempos de ejecución obtenidos (segundos) para cada una de las implementaciones realizadas con 350 trazas

	Tiempo de ejecución(segundos)					
	Arquitectura 1		Arquitectura 2		Arquitectura 3	
	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas
Secuencial	0.0970	0.2014	0.0981	0.2570	0.0512	0.1410
OpenMP	0.0530	0.1504	0.0404	0.2686	0.0375	0.1540
OpenCL CPU	0.0530	1.3095	0.0404	1.4026	0.0375	1.2722
OpenCL GPU	0.0530	1.5560	0.0404	6.5064	0.0375	6.1552
CUDA	0.0530	1.4100	0.0404	1.6422	0.0375	5.0500

programa paralelo comparado con el programa secuencial. La fórmula de la aceleración es la siguiente [25]-[28]: $S = \frac{T_s}{T_p}$

Siendo T_s el tiempo de ejecución secuencial y T_p el tiempo de ejecución paralelo.

3.2.1. Escenarios de pruebas

Además de las métricas descritas se realizaron varios escenarios de pruebas los cuales se detallan a continuación:

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

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

Arquitectura 3: Intel Core i7 y una tarjeta de video nVidia Geforce GTX 260.

Para la realización de las pruebas se emplean las arquitecturas descritas, las cuales se detallan en la Tabla 2. Los dispositivos pertenecen a distintos fabricantes, con generaciones y arquitecturas que surgieron entre el 2007 y el 2012. Los resultados obtenidos se refieren solo al procesamiento. Los tiempos de ejecución que se exponen son el promedio de 10 ejecuciones del algoritmo para cada escenario descrito. El sistema operativo donde se ejecutaron las pruebas es Windows 7 de 64 bits.

3.2.2. Análisis de los resultados obtenidos

El objetivo fundamental de las pruebas realizadas es comprobar el objetivo de investigación planteado: disminuir el tiempo de ejecución del algoritmo implementado respecto al secuencial.

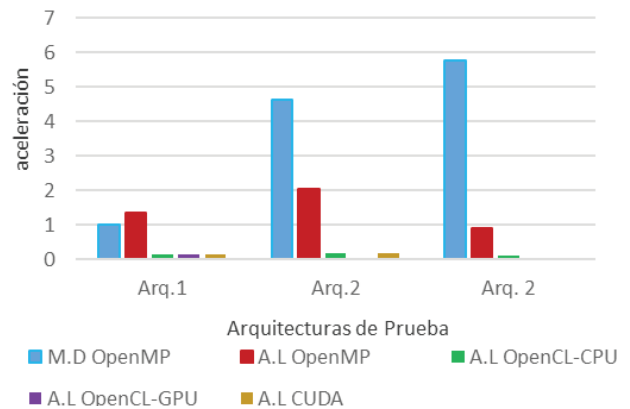


Fig. 9 Aceleración obtenida en las arquitecturas de prueba con 350 trazas.

Experimento 1:

A continuación se procede a realizar los experimentos con 350 trazas. Las trazas más largas tienen 10 caracteres mientras que las más cortas solo tienen 1 carácter, con promedio de 5 caracteres. Los tiempos que se exponen en la Tabla 3 exponen los tiempos obtenidos en las dos secciones paralelizadas, la matriz de distancias (T. Matriz D) y la alineación de las trazas (T. AL trazas).

Al analizar los resultados descritos en la Tabla 3 se observa que para todas las arquitecturas de prueba empleada, el tiempo de ejecución de la matriz de distancia es inferior a su tiempo secuencial. La alineación de las trazas solo disminuye cuando se emplea OpenMP en la arquitectura 1 y 2. Se concluye que para esta cantidad de patrones la paralelización de la alineación de las trazas empleando OpenCL y CUDA el tiempo de ejecución no disminuye. Los tiempos logrados con GPU superan en gran medida al tiempo

Tabla 4.

Tiempos de ejecución obtenidos (segundos) para cada una de las implementaciones realizadas con 2350 trazas

	Tiempo de ejecución(segundos)					
	Arquitectura 1		Arquitectura 2		Arquitectura 3	
	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas
Secuencial	4.3502	148.7538	5.7206	212.4726	3.9956	200.7250
OpenMP	2.5944	147.4612	1.9157	152.7680	0.9724	200.2720
OpenCL CPU	2.5944	215.0320	1.9157	237.5774	0.9724	230.5660
OpenCL GPU	2.5944	588.7847	1.9157	-	0.9724	-
CUDA	2.5944	585.5305	1.9157	-	0.9724	-

secuencial. Uno de los factores que influye en esto, es la cantidad de datos transferidos a través de la PCI entre el dispositivo y la memoria RAM.

La fig. 9 muestra la aceleración obtenida en cada arquitectura de prueba. La barra azul representa la aceleración obtenida con la paralelización de matriz de distancia con OpenMP (M.D), y las restantes barras son la aceleración obtenida con las implementaciones OpenMP, OpenCL-CPU, OpenCL-GPU y CUDA de la alineación de las trazas (A.L). La arquitectura que mejor aceleración logra disminuir el tiempo con la matriz de distancia es la 3. Las implementaciones realizadas a la alineación de las trazas no logran disminuir el tiempo de ejecución secuencial en la mayoría de los casos. La única implementación que logra aceleración es OpenMP para la arquitectura 1 y 2, en las restantes arquitectura la aceleración obtenida es inferior a 1.

Experimento 2:

A continuación se procede a realizar los experimentos utilizando 2350 trazas. Las trazas más largas tienen 26 caracteres mientras que las más cortas solo tienen 1 carácter, con promedio de 24 caracteres. Los tiempos que se exponen en la Tabla 4 exponen los tiempos obtenidos en las dos secciones paralelizadas, la matriz de distancias (T. Matriz D) y la alineación de las trazas (T. AL trazas).

En la Tabla 4 no se muestran resultados que la implementación realiza respecto a la alineación de las trazas para la arquitectura 2 y 3. La GPU instalada en ambas arquitecturas es la misma (ver Tabla 2). Al ejecutar el algoritmo en estas arquitecturas, la GPU no fue capaz de ejecutar tantas alineaciones de trazas a la misma vez. La cantidad de trazas a alinear es superior al experimento anterior, por lo

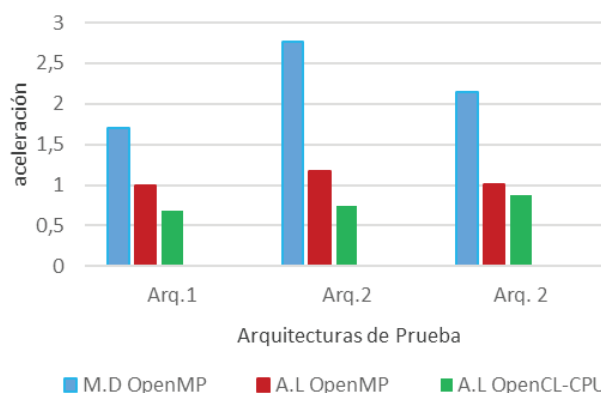


Fig. 10 Aceleración obtenida en las arquitecturas de prueba con 2350 trazas.

que se esperaba que la GPU aumentara el tiempo de ejecución del algoritmo como se evidencia para la arquitectura 1 (OpenCL y CUDA).

OpenMP es la única técnica que logra disminuir el tiempo de ejecución de esta implementación. Respecto a la paralelización de la matriz de distancia, para todas las arquitecturas se disminuye el tiempo de ejecución.

Se concluye que el proceso de alinear varios conjuntos de trazas a la misma vez dentro de la GPU, debido a las características descritas del algoritmo no es recomendable para este algoritmo. Muchas bifurcaciones afectan el rendimiento de las GPUs, la ejecución se serializa entre los hilos de un mismo grupo, por lo que se ejecutan pocos hilos de forma simultánea, esto provoca que los accesos a memoria sean muy dispersos.

Tabla 5.

Tiempos de ejecución obtenidos (segundos) para cada una de las implementaciones realizadas con 4350

	Tiempo de ejecución(segundos)					
	Arquitectura 1		Arquitectura 2		Arquitectura 3	
	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas	T. Matriz D	T. Al de trazas
Secuencial	16.8490	2262.5640	15.9205	2417.6380	13.4015	3359.9725
OpenMP	8.7395	2202.6020	4.6360	2312.6980	3.0100	3349.7100
OpenCL CPU	8.7395	2753.4120	4.6360	2904.8920	3.0100	3195.4410
OpenCL GPU	8.7395	-	4.6360	-	3.0100	-
CUDA	8.7395	-	4.6360	-	3.0100	-

La fig. 10 solo muestra la aceleración obtenida para las implementaciones OpenMP y OpenCL CPU. La barra azul muestra la aceleración lograda con la paralelización de la matriz de distancia. Las restantes hacen alusión a la implementación realizada a la alineación de las trazas (A.L). La arquitectura 2 es la que más logra disminuir el tiempo de ejecución de la matriz de distancia. No se obtiene, para ninguna de las arquitecturas de prueba, aceleración respecto a la alineación de las trazas con OpenCL (CPU). La aceleración obtenida con OpenMP disminuye relativamente poco el tiempo de ejecución de la implementación secuencial de la alineación de las trazas. A pesar de ello la arquitectura 2 es la que mejores resultados logra respecto a esta implementación.

Experimento 3:

A continuación se procede a realizar los experimentos utilizando 4350 trazas. Las trazas más largas tienen 49 caracteres mientras que las más cortas solo tienen 1 carácter. Los tiempos que se exponen en la Tabla 5 exponen los tiempos obtenidos en las dos secciones paralelizadas, la matriz de distancias (T. Matriz D) y la alineación de las trazas (T. AL trazas).

La Tabla 5 no muestra resultados para ninguna de las ejecuciones empleando GPU (OpenCL y CUDA). El controlador de video falla al realizar las alineaciones con esta cantidad de datos. Al recuperarse el algoritmo no termina de forma abrupta pero los resultados obtenidos no son correctos. En todas las arquitecturas de prueba se logra disminuir el tiempo de ejecución a la matriz de distancia. OpenCL CPU solo disminuye tiempo en la arquitectura 3. OpenMP a pesar de que en todas las arquitecturas logra disminuir el tiempo de la alineación de trazas, el tiempo no es significativo.

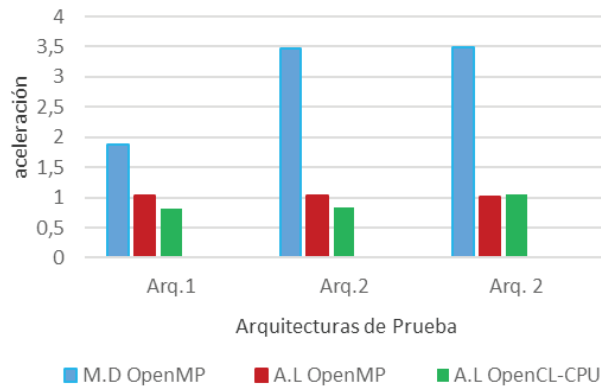


Fig. 11 Aceleración obtenida en las arquitecturas de prueba con 4350 trazas.

La fig. 11 muestra la aceleración obtenida para la implementación realizada a la matriz de distancia. Solo para OpenMP y OpenCL-CPU se muestra la aceleración obtenida para la alineación de las trazas. La barra azul representa la aceleración obtenida con la matriz de distancia. Todas las arquitecturas logran disminuir el tiempo de ejecución.

La aceleración obtenida con las implementaciones OpenMP y OpenCL-CPU para la alineación de las trazas, es casi imperceptible y con OpenCL-CPU solo se logra aceleración con la arquitectura 3.

Se concluye que a medida que la arquitectura ofrece mejores componentes de hardware, la implementación realizada con OpenMP respecto a la matriz de distancia, obtiene mejores resultados. Lo cual demuestra ser un algoritmo escalable.

Respecto a la alineación de las trazas, las implementaciones realizadas no logran disminuir en la mayoría de ellas, el tiempo de ejecución del algoritmo.

mo secuencial. Solo la implementación con OpenMP obtiene una aceleración, para todas las arquitecturas de prueba, aproximadamente 1.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación es disminuir el tiempo del algoritmo Trace Alignment se concluye lo siguiente:

- El diseño propuesto implementado con OpenMP, OpenCL y CUDA solo logra disminuir tiempo de ejecución con OpenMP.
- El tiempo de ejecución del algoritmo Trace Alignment paralelizado (OpenMP) disminuye aproximadamente 5 minutos respecto al tiempo secuencial.
- De las secciones implementadas con técnicas paralelas, la sección que más disminuye tiempo de ejecución es la matriz de distancia, a pesar de no ser la región que más consume tiempo dentro del algoritmo.
- El tiempo alcanzado empleando las GPUs disponibles es siempre superior al algoritmo secuencial. A medida que se aumenta la cantidad de trazas a alinear, las GPUs tienen muy bajo rendimiento.
- Los flujos complejos en las operaciones presentes en el kernel influyen negativamente en el rendimiento de este tipo de dispositivos.

REFERENCIAS

- [1] W. Van Der Aalst, "Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes: Springer Science & Business Media," 2011. ISBN: 978-3-642-19344-6.
- [2] A. Weijters, W. M. Van Der Aalst, and A. A. De Medeiros, "Process mining with the heuristics miner-algorithm," *Technische Universiteit Eindhoven, Tech. Rep. WP*, vol. 166, pp. 1-34, 2006. Available: doi: 10.1.1.118.8288
- [3] R. J. C. Bose and W. M. van der Aalst, "Process diagnostics using trace alignment: opportunities, issues, and challenges," *Information Systems*, vol. 37, pp. 117-141, 2011. Available: doi: 0.1016/j.is.2011.08.003
- [4] N. Carriero and D. Gelernter, "How to Write Parallel Programs: A First Course 1st ed.: MIT Press," 1992. ISBN: 0-262-03171-X
- [5] Z. Du, Z. Yin, and D. Bader, "A tile-based parallel Viterbi algorithm for biological sequence alignment on GPU with CUDA," presented at the Proc. of the *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing, Workshops and PhD Forum (IPDPSW)*, Atlanta, GA, 2010. Available: doi: 10.1109/IPDPSW.2010.5470903
- [6] T. Siriwardena and D. Ranasinghe, "Accelerating global sequence alignment using CUDA compatible multi-core GPU," in *Information and Automation for Sustainability (ICIAFs), 2010 5th International Conference on, Colombo, 2010*, pp. 201-206. Available: doi: 10.1109/ICIAFS.2010.5715660
- [7] L. Hasan, M. Kentie, and Z. Al-Ars, "GPU-accelerated protein sequence alignment," in *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*, 2011, pp. 2442-2446. ISBN: 978-1-4244-4121-1
- [8] M. R. Babu, "Parallelized hierarchical expected matching probability for multiple sequence alignment," *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 64, 2014. Available: <http://www.jatit.org/volumes/Vol64No2/10Vol64No2.pdf>
- [9] A. E. C. González, "La métrica de Levenshtein," *Revista de Ciencias Básicas UJAT*, vol. 7, pp. 35-43, 2008. Available: www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/revista_dacb/Acervo/v7n2OL/v7n2.pdf#page=37
- [10] D. Shrimankar and S. Sathe, "Performance Analysis of OpenMP and MPI for NW algorithm on multicore architecture," *International Journal of Advanced Studies in Computers, Science and Engineering*, vol. 3, p. 23, 2014. Available: <http://www.ijascse.org/volume-3-issue-6/OpenMp.pdf>

- [11] Sharma C and V. A. K., Parallel Approaches in Multiple Sequence Alignments. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 4(2), 2014. Available: http://www.ijarcsse.com/docs/papers/Special_Issue/icadet2014/Lord_35.pdf
- [12] A. Y. Zomaya, Parallel computing for bioinformatics and computational biology: models, *enabling technologies, and case studies* vol. 55: John Wiley & Sons, 2006. ISBN: 978-0-471-71848-2 ISBN: 978-1-4613-6601-0
- [13] D. E. Lenoski and W.-D. Weber, *Scalable shared-memory multiprocessing: Elsevier*, 2014. ISBN: 978-1-4613-6601-0
- [14] N. Matloff, "Programming on Parallel Machines University of California: Davis," 2012. Available: <http://heather.cs.ucdavis.edu/~matloff/158/PLN/ParProcBook.pdf>
- [15] A. OpenMP, "The OpenMP API specification for parallel programming," 2010. Available: <http://openmp.org>, 2010.
- [16] B. Chapman, G. Jost, and R. Van Der Pas, "Using OpenMP: portable shared memory parallel programming," vol. 10: MIT press, 2008. ISBN: 978-0-262-53302-7
- [17] OpenMP and A. R. Board, "OpenMP Application Program Interface", 3.0 ed., 2008. Available: <http://www.openmp.org/mp-cuments/spec30.pdf>
- [18] M. Sato, "OpenMP: parallel programming API for shared memory multiprocessors and on-chip multiprocessors," in *Proceedings of the 15th international symposium on System Synthesis*, 2002, pp. 109-111. ISBN: 1-58113-576-9
- [19] S. Cook, *CUDA programming: a developer's guide to parallel computing with GPUs: Newnes*, 2012. ISBN: 978-0124159334
- [20] R. Farber, *CUDA application design and development: Elsevier*, 2011. ISBN: 978-0-12-388426-8
- [21] J. Sanders and E. Kandrot. *CUDA by example: an introduction to general-purpose GPU programming*, 2010. ISBN: 978-0131387683
- [22] AMD, "Accelerated Parallel Processing OpenCL Programming Guide: AMD," 2012. Available: http://developer.amd.com/wordpress/media/2013/07/AMD_Accelerated_Parallel_Processing_OpenCL_Programming_Guide-rev-2.7.pdf
- [23] B. e. R. Gaster, L. Howes, D. R. Kaeli, P. Mistry, and D. Schaa, *Heterogeneous Computing with OpenCL*, 2nd ed.: Morgan Kaufmann, 2013. ISBN: 970-0-12-405894-1
- [24] M. Scarpino, "Opencl in Action: How to Accelerate Graphics and Computation. NY," ed: USA: Manning, 2012. ISBN: 9781617290176
- [25] P. S. Pacheco, *An Introduction to Parallel Programming*, 1st ed., Morgan Kaufmann, 2011. ISBN: 0080921442
- [26] M. Abd-El-Barr and H. El-Rewini, *Fundamentals of Computer Organization and Architecture*, 1st ed. New Jersey, USA: Wiley-Interscience, 2004. ISBN: 0-471-4674-1-3
- [27] F. Gebali, *Algorithms and Parallel Computing*, 1st ed., Wiley, 2011. ISBN: 978-0-470-90210-3
- [28] A. Grama, A. Gupta, G. Karyspis, and V. Kumar, *Introduction to Parallel Computing*, 2nd ed., Addison Wesley, 2003. ISBN: 978-0201648652

Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado

Expert System for Both Pavement Damage Management and Compacted Roads

Víctor Daniel Gil-Vera, PhD(C).

Fundación Universitaria Luis Amigó

Medellín, Colombia

victor.gilve@amigo.edu.co

(Recibido el 20-09-2015. Aprobado el 16-11-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

V.D. Gil-Vera, "Sistema Experto para la Gestión de Daños en Vías Pavimentadas y en Afirmado", *Lámpsakos*, no. 15, pp 22 - 29, 2016.

Resumen. Conocer las diferentes clases de afectaciones que se pueden generar en vías pavimentadas o en afirmado, y las acciones que se pueden tomar para solucionarlas, es una tarea de gran importancia para los agentes encargados del mantenimiento vial. El objetivo de este artículo es presentar el sistema experto ROAD Expert System, diseñado como apoyo a la gestión y prevención de daños que se pueden presentar en las condiciones físicas de la red vial nacional. El trabajo se divide en tres partes; en la primera se presenta el marco teórico donde se contextualizan las nociones básicas de sistemas expertos y los fundamentos de la revisión sistemática de literatura (RSL), en la segunda, la metodología utilizada para la construcción del sistema experto y en la tercera, se presenta el sistema experto ROAD Expert system. Con la realización de este trabajo, se concluye que los sistemas expertos (SE) facilitan la gestión del mantenimiento vial y permiten reducir los altos costos asociados con asesorías especializadas.

Palabras Clave: Sistemas expertos; Vías; Pavimento; Gestión de daños.

Abstract. Considering the diverse type of damages that can be generated on paved or compacted roads, and the necessary actions to solve this situation, it is definitely an important project to be solved for the national road maintenance. The aim of this paper is to present the ROAD Expert System development, designed to support the management and prevention of damage in the physical conditions of the national road network. This work is divided in three parts: first, it presents the basic theory of expert systems and systematic literature review (SLR); second, it presents the methodology used to develop the expert system; and the end third, it presents the system. With the development of this work, concluded that the expert systems (ES) facilitate the management of road maintenance and can reduce the costs associated with external consults.

Keywords: Expert Systems; Roads; Pavement; Damage Management.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas expertos (SE) como rama de la inteligencia artificial aplicada, creada a comienzos de 1960, tienen como objetivo principal almacenar la experiencia de los seres humanos en ordenadores en cualquier área del conocimiento, para que posteriormente los usuarios acudan a ellos y puedan obtener consejos a sus requerimientos. Dicha experiencia puede ser obtenida como producto de la interacción con expertos o de publicaciones especializadas en libros o revistas científicas. Los SE se utilizan para resolver problemas tal y como lo hacen los humanos en un área específica de conocimiento: medicina, ingeniería, ciencias exactas, naturales, humanas, entre otras.

En Colombia, una gran cantidad de vías están construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado. Cada una de estas variaciones puede presentar afectaciones o alteraciones que perjudican directa o indirectamente las condiciones físicas de la superficie vial. En la actualidad, es altamente reducido el número de herramientas disponibles para gestionar dichas afectaciones, razón por la cual se construye ROAD Expert System, para facilitar a los agentes encargados del mantenimiento vial la identificación, manejo y control de daños que se pueden presentar en vías pavimentadas o en afirmado.

ROAD Expert System, surge de la idea de que las buenas condiciones de las vías contribuyen al desarrollo económico y social de las regiones. Debido a la importancia del mantenimiento vial, se plantea la necesidad de realizar una gestión integral del mantenimiento de las condiciones físicas de las mismas, como soporte al ejercicio de planeación y articulación, desde la identificación de la afectación vial hasta la implementación y ejecución de las acciones correctivas, preventivas o de mitigación.

El SE desarrollado puede ser utilizado como herramienta para la toma de decisiones de todos los actores involucrados en la gestión del mantenimiento vial, como funcionarios públicos, contratistas y comunidades. En efecto, el objetivo principal del artículo es presentar el sistema experto ROAD Expert System, diseñado como apoyo a la gestión del mantenimiento del pavimento vial.

ROAD Expert System fue diseñado para dar respuesta a dos temáticas principales: las afectaciones que se pueden presentar en vías construidas con

pavimento flexible, rígido o en afirmado y las medidas correctivas, preventivas y de mitigación que se pueden tomar para solucionarlas. Con la realización de este trabajo, se concluye que los sistemas expertos (SE) facilitan la gestión del mantenimiento vial y permiten reducir los costos asociados con asesorías externas especializadas.

2. METODOLOGÍA

En la actualidad, diversos autores utilizan diferentes concepciones para referirse a los sistemas expertos (SE). Por su parte, [1] los define como aplicaciones que usan procedimientos y reglas de inferencia para la resolución de problemas complejos, que requieren la presencia de un especialista para resolverlos, mientras que [2] los define como aplicativos que simulan y procesan el conocimiento de expertos humanos para obtener soluciones específicas.

Los SE están conformados por una base de conocimientos, una base de hechos y un motor de inferencias [3]. La base de conocimientos (BC) almacena las variables y las reglas que definen el problema. La base de hechos (BH) es la memoria temporal de trabajo que contiene los hechos sobre un problema descubierto durante el análisis y alberga los datos propios correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del sistema. El Motor de Inferencias (MI) es el que obtiene las conclusiones aplicando la lógica a las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC).

Las principales ventajas de los SE hacen referencia a la disminución de costos, ya que suprimen la necesidad de acudir a expertos humanos en un área determinada de conocimiento, son permanentes y carecen de emociones humanas, las cuales son fuentes constantes de error. Por otra parte, sus principales desventajas son la falta de sentido común, ya que no hay nada obvio para ellos y no tienen la capacidad de almacenar la experiencia tal y como lo hacen los humanos.

2.1. Revisión sistemática de literatura (RSL)

La RSL es una revisión exhaustiva, metódica y rigurosa de literatura, que busca dar respuesta a una o más preguntas de investigación, tomando como base publicaciones e investigaciones previas. Una

Tabla 1.

Número de publicaciones por tipo (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de publicación	Cantidad
Artículos	35
Artículos de conferencias	30
Resúmenes de conferencias	11
Resúmenes	1
Total	77

RSL es una manera de evaluar, interpretar y clasificar el conocimiento existente de una temática o fenómeno de interés [4].

Una RSL comprende las siguientes fases; planificación de la revisión, ejecución y presentación de resultados [4]. La fase de planificación comprende la identificación de la necesidad y la formulación de un protocolo de revisión. La fase ejecución comprende la selección de estudios primarios, la extracción y monitoreo de información, y la síntesis de los mismos. Por último, en la fase de presentación de resultados, se presenta el análisis de la información obtenida en la fase anterior.

Para la elaboración de ROAD Expert System se realizó una RSL enfocada en dar respuesta a dos preguntas de investigación:

- ¿Qué tipos de daños se pueden producir en vías construidas en pavimento rígido, flexible o en afirmado?
- ¿Qué acciones se pueden tomar para solucionarlos?

Para la obtención de la información, se realizó una búsqueda en Scopus y en publicaciones de literatura gris especializadas en el tema. Las palabras de búsqueda utilizadas fueron: *expert, systems, management, impacts, damages, pavement, asphalt*. La ecuación de búsqueda utilizada fue:

(TITLE-ABS-KEY (damages pavement asphalt) AND PUBYEAR > 2007) AND ((management)) AND (systems) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP")) (1)

El rango de fechas de publicación consideradas en la revisión estuvo comprendido desde el año 2008 hasta el presente. En total se recopilaron 77 publicaciones especializadas entre artículos, artículos de con-

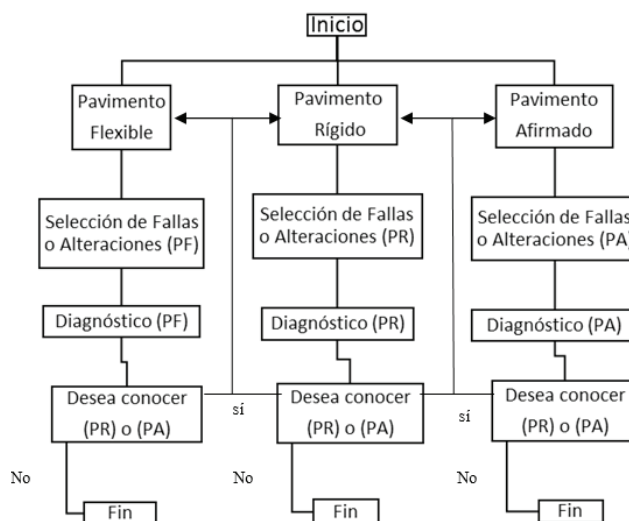


Fig. 1 Estructura inferencial. Fuente: Elaboración propia

ferencias, resúmenes, capítulos de libros y artículos en desarrollo. En la Tabla 1, se presenta el número de publicaciones recopiladas por tipo:

Como parte de la revisión se realizó una clasificación de publicaciones por año, siendo el 2014 el año en el que se presentó una mayor cantidad de publicaciones sobre el tema, con un total de 14. Al realizar el mismo análisis para los autores, se encontró que Sugiyama, H. es el que registra el mayor número de publicaciones, con 3 en total. En relación con las revistas, se encontró que *Applied Mechanism and Materials* es la que registra la mayor cantidad de publicaciones en el tema.

Como resultado de la búsqueda de literatura gris se recopilaron 10 publicaciones distribuidas entre cartillas y manuales sobre alteraciones y fallas que se pueden presentar en vías pavimentadas o en afirmado, publicados por el Ministerio de Transporte de Colombia, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la Universidad Nacional de Colombia (UN), la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), y otras entidades especializadas en el tema, las cuales fueron utilizadas como base para el desarrollo del sistema experto.

En primer lugar, ROAD Expert System realiza una clasificación de la vía pavimentada o en afirmado. Posteriormente, identifica los tipos de daños que se pueden presentar en cada tipo y las posibles causas que los generan. Finalmente, presenta las intervenciones recomendadas para corregir dichas afectacio-

nes. Para conceptualizar el sistema se consideraron los puntos de vista del usuario y del personal especializado en el tema.

ROAD Expert System se construye utilizando el software XERTE, el cual es una suite de código abierto para programadores de e-learning y para productores de contenidos interactivos creado por la Universidad de Nottingham, Reino Unido. Las aplicaciones pertenecientes al campo de la medicina, la estadística, la ingeniería y el aprendizaje basado en problemas (ABP) son algunas de las principales aplicaciones que se pueden construir con el software.

A continuación, se explican las fases comprendidas en la creación y desarrollo de ROAD Expert System:

- **Adquisición de conocimiento:** la información utilizada en la construcción de ROAD Expert System, se obtuvo de publicaciones especializadas en bases de datos científicas de primera calidad y literatura gris especializada en el tema, especialmente manuales publicados por el Ministerio de Transporte de Colombia, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la Universidad Nacional de Colombia (UN) y la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Una vez recopilada y organizada toda la información, se procedió a estructurarla y organizarla según el tipo de material con el cual está construida la vía.

- **Representación del conocimiento:** en la fig. 1, se presenta el modelo utilizado para representar la información recopilada en la fase anterior:

Cuando el usuario ingresa al sistema debe seleccionar el tipo de material con el que está construida la vía; pavimento (flexible /rígido) o en afirmado. Una vez seleccionado, el sistema presenta una serie de daños que se pueden presentar en el material seleccionado. Dependiendo de la selección del usuario y según las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC), el sistema presenta la descripción detallada del daño y las intervenciones que se pueden llevar a cabo para solucionarlas.

A continuación, se presentan las fases relacionadas con la elaboración del sistema:

- **Verificación:** una vez construida toda la estructura del sistema, se verificó que cada diagnóstico presentado fuera correcto según la información y las reglas de inferencia establecidas en la base de conocimientos BC. Se realizaron pruebas con personas

Tabla 2.

Daños generales en vías (Adaptado de [7])

Daño	Descripción
Deformaciones	Variaciones de los perfiles del pavimento apreciables a simple vista
Fisuras	Fracturas visibles en la superficie del Pavimento
Desprendimientos	Pérdidas de material que afectan pequeñas áreas del pavimento
Baches	Deformaciones locales en el cual el pavimento se ha destruido parcial o totalmente
Otros daños	Desgaste superficial

interesadas en la temática con el objetivo de obtener observaciones y sugerencias y mejorar el funcionamiento del sistema.

- **Validación:** la validación del sistema fue realizada por expertos, permitiéndoles explorar su funcionamiento y hacer sugerencias en el diseño y contenido del mismo.

- **Prueba:** finalmente, una vez culminada la construcción de ROAD Expert System se realizó una prueba final, de la que se obtuvo una realimentación positiva en la evaluación del mismo.

3. CASO DE APLICACIÓN

La seguridad y operatividad de las vías dependen directamente de la calidad del pavimento. Este puede sufrir una diversidad de problemas estructurales que pueden generar daños en la superficie del mismo. Para minimizar el efecto de esta clase de problemas se requieren herramientas para la gestión de las condiciones reales del pavimento [5].

Los daños que se pueden producir durante la vida útil normal del pavimento tienen consecuencias para la seguridad y operatividad de las redes viales. Estos se producen por diferentes razones, tales como el aumento del tráfico o la falta de recursos y rutinas establecidas para realizar el mantenimiento vial. La mayoría de estas afectaciones son originarias de las capas inferiores, las cuales no son visibles hasta la aparición de grietas en la superficie del pavimento. Otros factores como la infiltración de agua y la presencia de suelo cohesivo, reducen en gran medida la capacidad de soporte de las capas de sub-asfalto y de los suelos subyacentes, originando daños en las condiciones físicas del pavimento [5].



Fig. 2 Base de conocimientos. Fuente: Elaboración propia

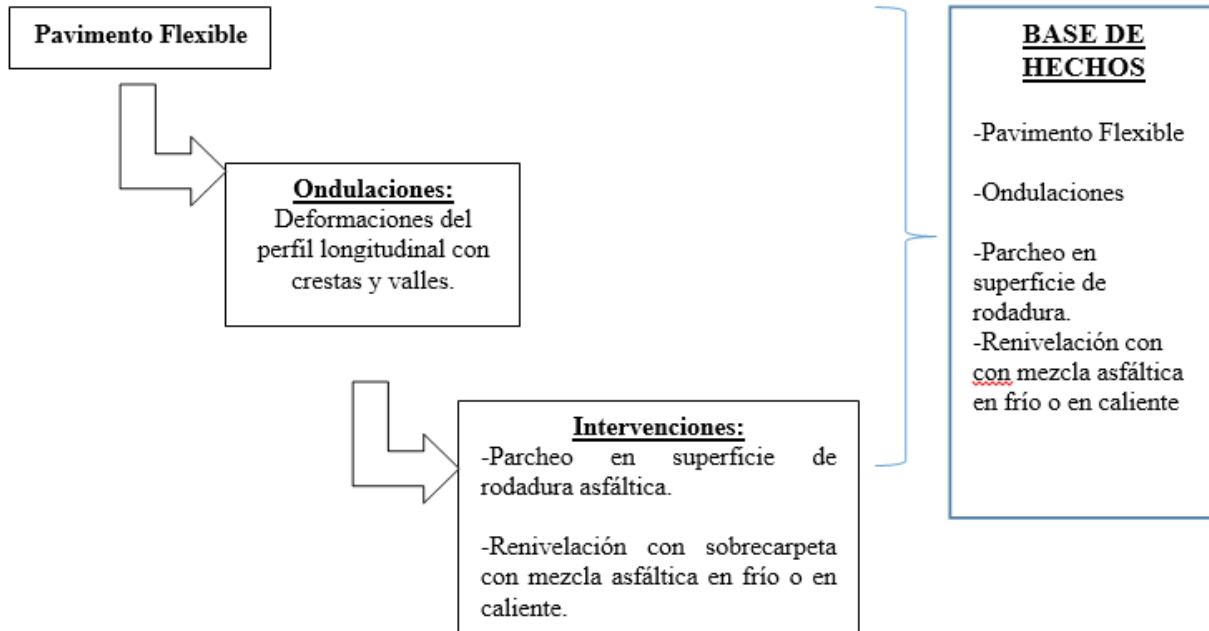


Fig. 3 Base de hechos. Fuente: Elaboración propia

En los trabajos realizados por [6] y [7] se presenta una clasificación de los principales daños que se pueden presentar en vías pavimentadas y en afirmado:

Debido a la alta diversificación de fallas y alteraciones que se pueden presentar en la red vial nacional, se consideró oportuno desarrollar un sistema experto SE que sirva de apoyo en la toma de decisiones a funcionarios, contratistas y comunidades afectadas, al momento de decidir qué tipo de intervenciones se pueden ejecutar para solucionarlas.

ROAD Expert System permite conocer las diferentes fallas y alteraciones que se presentan en vías con pavimento flexible, rígido o en afirmado, independiente de si es una vía primaria, secundaria o terciaria de la red vial nacional. Para comenzar, el usuario selecciona el tipo de material con el cual está

construida la vía, posteriormente, y dependiendo del tipo de material y el daño seleccionado, el sistema presenta el diagnóstico final donde se detalla y explica el tipo de alteración y las intervenciones que se pueden ejecutar para solucionarlas.

Otras metodologías alternativas que pueden servir de apoyo al momento de decidir qué tipo de intervenciones ejecutar para solucionar problemas y fallas de la red vial nacional son: juicio de expertos y guías metodológicas especializadas. La principal ventaja de la primera es la exactitud en la identificación de la problemática, su principal desventaja son los altos costos que tiene asociados. La segunda alternativa requiere de investigaciones profundas en el área, las cuales pueden requerir inversiones significativas de tiempo y dinero.

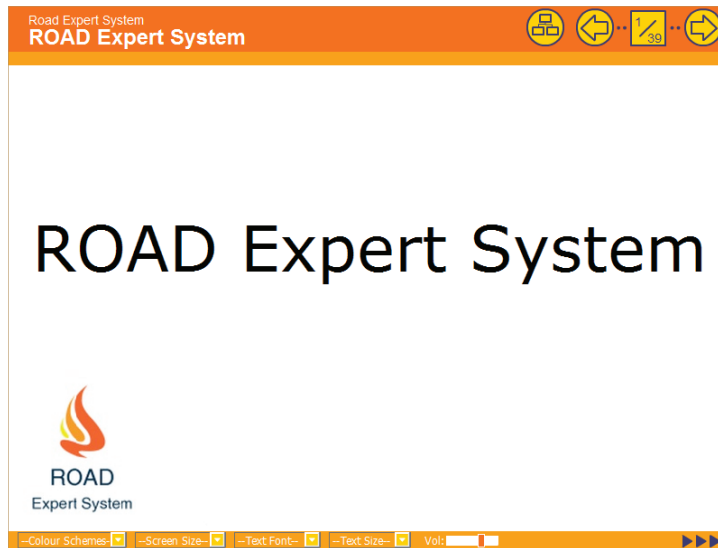


Fig. 4. Interfaz inicial. Fuente: Elaboración propia

Road Expert System
Descripción

Objetivos
Presentar las fallas y alteraciones que se pueden presentar en vías secundarias construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado, y las posibles acciones que se pueden tomar para solucionarlas.

Dirigido a:
Funcionarios Públicos, Contratistas y Comunidades.

Pre-requisitos
Nociones básicas de materiales de asfalto y mantenimiento vial.

¿Cómo usar ROAD Expert System?
Responder las preguntas que se proponen, al final el sistema presentará el diagnóstico final.

Fig. 5 Descripción. Fuente: Elaboración propia

Seleccione el tipo de alteración que se presenta la vía:

- Corrugaciones
- Ahuellamiento
- Pérdida de agregados
- Sección transversal inadecuada
- Baches

Confirm

Fig. 6 Alteraciones pavimento afirmado. Fuente: Elaboración propia

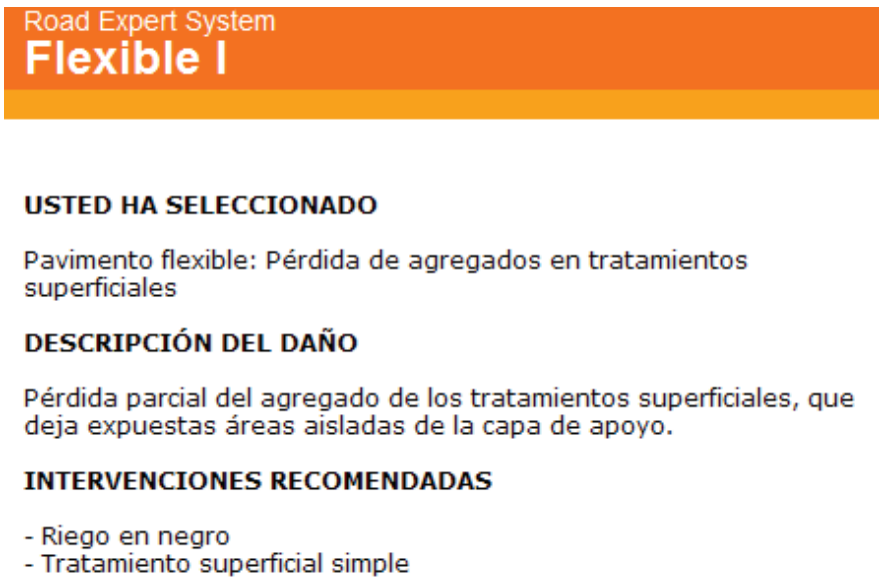


Fig. 7 Diagnóstico. Fuente: Elaboración propia

3.1. Elementos que componen la estructura del ROAD Expert System

- **Base de Conocimientos (BC):** recopila la información sobre las fallas y alteraciones que se generan en el pavimento flexible, rígido o en afirmado, y las intervenciones que se pueden tomar para solucionarlas. En la fig. 2 se presenta el tipo de información que componen la (BC):
- **Base de Hechos (BH):** almacena las opciones de respuesta que el usuario selecciona para luego procesarlas en el motor de inferencias (MI). En la fig. 3 se presenta un ejemplo de la información que almacena la base de hechos (BH) para una alteración presentada en pavimento flexible:
- **Motor de Inferencias (MI):** es el que presenta el diagnóstico final según el tipo de material seleccionado y las alteraciones que el usuario haya seleccionado tomando como base las reglas establecidas en la base de conocimientos (BC).

3.2. Funcionamiento de ROAD Expert System

Para ejecutar ROAD Expert System se puede acceder al enlace disponible en <https://www.dropbox.com/s/iv2svuikzqpla63/ROAD%20Expert%20System.rar?dl=0> [8]. El usuario debe extraer el contenido del enlace anterior y ejecutar el archivo denominado "Index.htm". En la fig. 4 se presenta la interfaz inicial del sistema:

En la fig. 5, se especifican los objetivos, la audiencia a quién va dirigido el sistema y cómo utilizarlo.

El usuario puede seleccionar entre tres tipos de materiales: pavimento rígido, flexible o afirmado. Una vez lo ha seleccionado, el sistema presenta los daños que se pueden producir. En la fig. 6 se presentan los tipos de alteraciones que se pueden generar para una vía en afirmado.

Finalmente, el sistema presenta el diagnóstico final, detallando el tipo de alteración, presenta la ruta de las opciones que fueron seleccionadas por el usuario y da la opción de conocer las otras clases de alteraciones que se pueden presentar en el tipo de material seleccionado. En la fig. 7 se presenta el diagnóstico final.

La principal ventaja de ROAD Expert System es que facilita la toma de decisiones respecto a las intervenciones que se pueden tomar para solucionar las fallas o alteraciones que se presentan en el pavimento de redes viales, sin necesidad de recurrir a un experto humano. Por otra parte, su principal desventaja es que aún se encuentra en construcción y desarrollo, por lo cual está sujeto a modificaciones y mejoras. Adicionalmente, únicamente toma en cuenta los tres tipos de materiales utilizados en vías colombianas, por lo que no es un sistema que se pueda utilizar en cualquier parte del mundo.

4. CONCLUSIONES

Las vías construidas con pavimento flexible, rígido o en afirmado pueden presentar una diversidad de daños o alteraciones, las cuales pueden incrementar su severidad si no se realiza a tiempo una adecuada gestión del mantenimiento vial. El sistema experto desarrollado en este trabajo, facilita a funcionarios públicos, contratistas, comunidades y agentes relacionados con el proceso de mantenimiento vial, la identificación de las acciones que pueden tomar para solucionarlos, lo que a su vez permite reducir los costos asociados con consultorías externas especializadas.

Los sistemas expertos (SE) permiten integrar temáticas aisladas en cualquier área del conocimiento, facilitando la identificación de problemas y la formulación de estrategias para prevenirlos, solucionarlos o mitigarlos.

REFERENCIAS

- [1] R. Cowan, "Expert systems : aspects of and limitations to the codifiability of knowledge " vol. 30, pp. 1355–1372, 2001. Available: doi:10.1016/S0048-7333(01)00156-1
- [2] N. L. Maziero, "A Feature-Based Object-Oriented Expert System to Model and Support Product Design," vol. 22, no. 4, pp. 151–159, 2000. Available: doi 10.1590/S0100-73862000000400003
- [3] E. Turbante and J. Aronson, "Decision Support Systems and Intelligent Systems," 2nd ed., vol. 6, P. I. Hall, Ed. Hong Kong, 2005, pp. 210–240.
- [4] B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews." Software Engineering Group. Department of Computer Science, Staffordshire, pp. 1-40, 2004. [Online] Disponible en: <http://www.inf.ufsc.br/~awangenh/kitchenham.pdf>. Accedido [05-11-2015].
- [5] A. Benedetto and S. Pensa, "Indirect diagnosis of pavement structural damages using surface GPR reflection techniques," J. Appl. Geophys, vol. 62, no. 2, pp. 107–123, Jun. 2007. doi:10.1016/j.jappgeo.2006.09.001
- [6] U. Nacional de Colombia and M. Transporte, "Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras." Bogota. D.C, pp. 12– 45, 2006. [Online] Disponible en: http://www.invias.gov.co/index.php/historico-carretera-virtual/doc_download/976-manual-para-la-inspeccion-visual-de-puentes-y-pontones. Accedido [02-11-2014].
- [7] A. Figueroa, C. Floréz, M. León, E. Muñoz, B. Ojeda, F. Reyes, and J. Rodríguez, "Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)." Bogota. D.C, pp. 23 – 78, 2010. Disponible en: <https://dirinfra.min-transporte.gov.co/pvr2/images/stories/documentos/pavimentos1.pdf> Accedido [04-10-2014].
- [8] V. Gil. "Road Expert System". Artículo [en Línea], Disponible: <http://sanjose.hol.es/road/>. Accedido [04-04-2015].

Diversificación Internacional de Portafolios en Colombia por Medio de ETF

International Portfolio Diversification in Colombia by Means of ETF

Luis Miguel Jiménez-Gómez, MSc.

*Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia
luisjimenez@itm.edu.co*

Fred Restrepo-Giraldo, MSc.

*Tecnológico de Antioquia
Medellín, Colombia
frestrepo@tdea.edu.co*

Natalia María Acevedo-Prins, MSc.

*Institución Universitaria ESUMER
Medellín, Colombia
natalia.acevedo4@esumer.edu.co*

(Recibido el 20-10-2015. Aprobado el 16-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

L.M. Jiménez-Gómez, F. Restrepo-Giraldo, N.M. Acevedo-Prins, "Diversificación Internacional de Portafolios en Colombia por Medio de ETF", *Lámpsakos*, no. 15, pp 30 - 42, 2016.

Resumen. La rentabilidad del portafolio depende principalmente del riesgo subyacente asociado, el cual se define como la probabilidad de que el resultado de la inversión pueda ser diferente a lo esperado. De esta manera, una forma de mitigar el riesgo es por medio de la diversificación. Sin embargo, considerando que la diversificación de portafolios permite disminuir el riesgo asociado, la diversificación internacional de portafolios ofrece oportunidades adicionales para reducir el riesgo. Esta investigación pretende demostrar los beneficios de la diversificación internacional de portafolios. Para esto se utilizarán portafolios de inversión conformados solo con activos financieros colombianos, los cuales serán diversificarlos con activos financieros internacionales

como los fondos cotizados en bolsa o ETF (*Exchange Traded Fund*). Se estimará y se comparará el Valor en Riesgo de cada uno de los portafolios con las metodologías tradicionales para identificar los activos financieros internacionales que mejor diversifiquen los portafolios del mercado colombiano. El principal hallazgo es que los portafolios de acciones de mayor liquidez de la Bolsa de Valores de Colombia pueden disminuir el riesgo al considerar ETF que repliquen índices internacionales, en particular el S&P 500.

Palabras clave: Diversificación internacional de portafolios; Beneficios de la diversificación; Fondos cotizados en bolsa; Valor en Riesgo.

Abstract. The portfolio profitability depends mainly on the underlying risk associated, which is defined as the probability that the investment results may be different than expected. Thus, one way to mitigate the risk is through diversification. However, considering that the portfolio diversification helps to reduce the associated risk, international diversification portfolio provides additional opportunities to reduce risk. This research shows the benefits of international diversification portfolios. For this, investment portfolios formed only with Colombian financial assets, they will diversify with international financial assets such as, Exchange Traded Funds – ETF. We

will estimate and compare the Value at Risk of each of the portfolios with traditional methodologies for identifying international financial assets that diversify the portfolios of the Colombian market better. The main finding is that the portfolios with the most liquid shares of the Colombia Stock Exchange decrease the risk when considering ETF that replicate international indices, specifically the S & P 500.

Keywords: international Portfolio Diversification; Diversification Benefits; Exchange Traded Fund; Value at Risk.

1. INTRODUCCIÓN

La expansión de la economía mundial se relaciona con el crecimiento y la liberalización de los mercados de capitales emergentes y en desarrollo, así como los avances tecnológicos que permiten invertir más fácil y de acceso abierto a los activos de renta variable. Esto hace que los inversionistas posean más opciones para la conformación de portafolios de inversión y se beneficien de la disminución del riesgo por la diversificación internacional [1]. Igualmente, una de las principales tendencias en los mercados financieros durante los últimos 20 años es el crecimiento de las oportunidades de inversión internacionales. Esta tendencia se debe a la desregulación financiera en todo el mundo y eliminación de las restricciones a la inversión que enfrentan los inversionistas. Las oportunidades de inversión internacionales se vuelven atractivas debido a las mayores oportunidades en la disminución del riesgo del portafolio [2].

La rentabilidad del portafolio depende principalmente del riesgo subyacente asociado. El riesgo de una inversión se define como la probabilidad de que el resultado de la inversión pueda ser diferente a lo esperado [3]. De esta manera, una forma de mitigar el riesgo con el portafolio de inversión es diversificándolo [4], [5]; sin embargo, considerando que la diversificación de portafolios permite disminuir el riesgo asociado, Levy y Sarnat [6], afirman que la diversificación internacional de portafolios ofrece también oportunidades adicionales para reducir el riesgo.

Con la conformación de portafolios de inversión con activos financieros colombianos no se obtienen diversificaciones que logren disminuir el riesgo de los mismos. Por esto, es necesario identificar los posibles activos financieros extranjeros que permitan una mayor diversificación y a la vez un menor Valor en Riesgo. Es necesario identificar los activos financieros internacionales con los que se permita obtener beneficios al momento de diversificar internacionalmente, y así los inversionistas pueden ampliar las opciones de inversión con el fin de poseer menor riesgo.

Esta investigación pretende demostrar los beneficios de la diversificación internacional de portafolios. Para esto se utilizan portafolios de inversión conformados con activos financieros colombianos, los cuales están diversificados con activos financieros internacionales como los fondos cotizados en bolsa o ETF (*Exchange Traded Fund*). Se estimará y comparará

el Valor en Riesgo de cada uno de los portafolios con dos metodologías tradicionales: Valor en Riesgo paramétrico y no paramétrico. Los cálculos se realizan con datos de cierre diario y mensual de las acciones colombianas y los ETF internacionales.

2. ANTECEDENTES

Las primeras evidencias encontradas en la literatura sobre diversificación internacional de portafolios, son los trabajos de Grubel [7] y Levy y Sarnat [6] que emplean la metodología de media-varianza. Grubel [7] implementó un modelo macroeconómico en bonos del gobierno de dos países para examinar empíricamente las ventajas de la diversificación internacional para un inversionista en Estados Unidos. Este trabajo concluyó en que existen beneficios sustanciales en la diversificación internacional. Por su parte, Levy y Sarnat [6] determinaron la frontera eficiente de Markowitz para un conjunto de 28 índices de diferentes países, de los cuales 15 índices generan mejoras para inversionistas en Estados Unidos; sin embargo, los beneficios de la diversificación internacional se obtienen con inversiones en mercados emergentes.

Lessard [8] encontró pequeñas correlaciones entre los mercados de valores internacionales. Estas correlaciones proporcionan la base para la reducción del riesgo del portafolio mejor que con portafolio nacional. No obstante, un estudio de Goetzmann *et al.* [9] encontró que la correlación entre los mercados de renta variable aumenta hacia el final del siglo 20. A pesar de la mayor correlación, Dimson *et al.* [2] muestran los beneficios en la reducción del riesgo del portafolio por medio de la diversificación internacional.

Errunza, Hogan, y Hung [10] examinan los beneficios de la construcción de un portafolio de activos nacionales que imitan índices extranjeros para lograr un mayor rendimiento sin exposición directa extranjera. Ellos determinan que las inversiones en los mercados extranjeros proporcionan ventajas de diversificación significativas a pesar de la imitación de los portafolios que están altamente correlacionados con los mercados extranjeros.

Barclay's Global Investors [11] identificó que la correlación puede ser usada para medir la magnitud de la relación entre dos inversiones. Ragunathan and Mitchell [12], analizan la correlación entre las rentabilidades del mercado de acciones como base para

la reducción del riesgo del portafolio que demuestra que los portafolios con correlaciones bajas o negativas ayudan a reducir el riesgo. Adicionalmente, Juna *et al.* [13] afirman que las rentabilidades de las acciones en países emergentes están positivamente correlacionadas.

Vassal [14] empleó el método Monte Carlo para mostrar que el riesgo en acciones de baja rentabilidad puede ser minimizado manteniendo posiciones en múltiples portafolios de acciones que poseen asimetría positiva. Por su parte, Adcock y Shetes [15], encontraron asimetría en mercados emergentes y que manteniendo más acciones en un portafolio de inversión podría mejorar las probabilidades de mitigar el riesgo asociado con la inversión.

Fletcher [16] construyó portafolios de inversión para inversionistas del Reino Unido con tres diferentes activos internacionales. Los hallazgos fueron que la diversificación internacional aumenta el ratio de Sharpe, es decir, aumenta la recompensa en rentabilidad por cada unidad de riesgo que se asume.

Driessen [17] demostró que invertir en el extranjero tiene mejores beneficios para los inversionistas en países emergentes, incluso con los controles y efectos cambiarios. Las ganancias derivadas de la diversificación internacional son más importantes para los países con alto riesgo país.

Estrada [18] examina los beneficios de la diversificación internacional en la aplicación en fondos de inversión que replican índices bursátiles encontrando beneficios mediante la utilización de fondos de inversión cotizados en bolsa (ETF). Eun, Huang y Lai [19] encuentran que la inversión en acciones de pequeña capitalización proporciona beneficios de diversificación significativa para los inversionistas estadounidenses y para los inversionistas que tienen acciones de gran capitalización de países europeos.

Bekaert, Hodrick, y Zhang [20] demuestran una tendencia al alza en las correlaciones de las rentabilidades entre los mercados de valores europeos. Sin embargo, otros autores como Baele y Inghelbrecht [21], Tu y Daigler [22] y Christoffersen, Errunza, Jacobs y Langlois [23] observan que las correlaciones se incrementan notablemente en un gran número de mercados, aunque en una extensión mucho más grandes en los mercados desarrollados que en los mercados emergentes. Por otra parte, concluyeron

que los beneficios de la diversificación internacional se reducen con el tiempo y más aún para los mercados desarrollados.

Switzer y Tahaoglu [1] evaluaron los beneficios de la diversificación internacional para un grupo de países desarrollados, así como economías emergentes utilizando datos que incluían la crisis financiera reciente y los períodos de recuperación. Los hallazgos empíricos del estudio sugieren que los inversionistas obtienen beneficios de la diversificación con una mezcla de acciones de economías desarrolladas y emergentes.

Por último, Miralles *et al.* [24] utilizan ETF en lugar de índices bursátiles para conformar portafolios diversificados internacionalmente para inversionistas ubicados en Estados Unidos, Reino Unido y Japón. Muestran que obtienen mejores diversificaciones cuando se integran en los portafolios de inversión ETF en dólares estadounidenses.

Una cuestión importante en la economía internacional se refiere a la magnitud de los beneficios de la diversificación sobre valores en países extranjeros, especialmente los valores en mercados emergentes. Si los valores extranjeros no se correlacionan perfectamente los inversionistas se benefician de la diversificación internacional. Sin embargo, la magnitud de los beneficios de la diversificación en general depende de diversas restricciones del portafolio, como la capacidad de los inversionistas a tomar posiciones cortas [25].

3. MARCO TEÓRICO

Harry Markowitz demostró que los inversionistas racionales seleccionan portafolios de inversión usando dos parámetros básicos: rentabilidad y riesgo. La rentabilidad es medida en términos de la media de la tasa de los rendimientos, y el riesgo es medido en función de la variación de los rendimientos alrededor de la media, entre mayor es la varianza de los rendimientos, mayor es el riesgo del portafolio. Los inversionistas seleccionan instrumentos financieros basados en la contribución de cada activo en la media y la varianza total del portafolio, por lo que al formar un portafolio de inversión, los inversionistas lo hacen reduciendo la varianza tanto como sea posible mediante la diversificación [26].

Por medio de la diversificación de portafolios, el riesgo puede reducirse, lo que conduce a reducir el rendimiento esperado. Con una selección adecuada de activos, la diversificación permite a los inversionistas obtener una tasa alta de rentabilidad para un nivel de riesgo específico [27].

3.1. ETF (Exchange Traded Fund)

Los ETF (*Exchange Traded Fund* o fondos de inversión cotizados en bolsa) son una innovación financiera relativamente reciente, que proporcionan un método alternativo de invertir de manera indirecta en acciones internacionales. Son similares a los fondos de inversión convencionales en que el valor de mercado está cerca del valor del activo subyacente, también en que son portafolios de valores que cotizan en las bolsas de valores. En vez de invertir en portafolios conformados por una sola población de empresas, los inversionistas utilizan los ETF para implementar estrategias de inversión [28].

Los ETF están diseñados para reflejar los índices bursátiles como el S&P 500 [29]. Son la combinación de un portafolio que replica un índice con la facilidad de comercializarlo a menores costos administrativos e impuestos. Están basados en los principales índices que normalmente comercian en volúmenes mucho más altos que las acciones individuales, permitiendo a los inversionistas entrar y salir de las posiciones de inversión con un riesgo mínimo [24].

En la literatura se evidencia que los ETF ofrecen mayores beneficios de diversificación que los propios fondos de inversión convencionales locales [29]–[32]. Por su parte, Hegde y McDermott [33], atribuyen el crecimiento de los ETF a la facilidad con la que los inversionistas pueden obtener beneficios de la diversificación del portafolio a bajos costos de transacción en comparación con los portafolios de inversión en acciones.

3.2. Valor en Riesgo (VaR)

Una de las tareas más importantes para las instituciones financieras es la evaluación de la exposición al riesgo de mercado, una posible forma de medir este riesgo es evaluar las pérdidas en que puedan incurrir cuando el precio de los activos del portafolio se reduce. Este es el propósito de las metodologías de Valor en Riesgo (VaR – *Value at Risk*). Debido a que el Comité de Basilea de supervisión bancaria

en el Banco de Pagos Internacionales requiere que las instituciones financieras cumplan con los requisitos de capital sobre las estimaciones del VaR, esta metodología se convirtió en una herramienta básica de gestión de riesgo de mercado de las entidades financieras [34].

El riesgo asociado a las inversiones de renta variable se cuantifica mediante la volatilidad o desviación estándar de las rentabilidades. Jorion [35] explica que este tipo de medidas consideran tanto los cambios positivos y negativos en precios de las acciones como constitutivos de riesgo, a pesar de que la mayoría de los inversionistas hacen caso omiso de los cambios positivos en un contexto de riesgo. El VaR se centra en los cambios negativos y los intentos de derivar una sola medida de las posibles pérdidas, ya sea en términos nominales o porcentuales.

El VaR proporciona una medida de la pérdida potencial en el valor del portafolio en un período de tiempo específico, y al hacerlo, agrega todos los riesgos en una única medida que puede ser fácilmente entendida por los gestores del portafolio y los inversionistas [36]. El VaR de un portafolio está en función de tres parámetros: el horizonte del tiempo, t , el nivel de confianza, $X\%$, y la volatilidad, σ . Este es el nivel de pérdida durante un período de tiempo de longitud t que no será excedido con un nivel de confianza del $X\%$.

Existen dos metodologías tradicionales para calcular el VaR: métodos paramétricos y métodos no paramétricos. Los métodos paramétricos son la simulación Monte Carlo y el de análisis de varianza-covarianza. El primero, consiste en tomar los rendimientos actuales como punto de partida y la simulación de los rendimientos esperados en un período de tiempo, generando miles de posibles alternativas. El método de análisis de varianza-covarianza, hace suposiciones sobre las distribuciones de los rendimientos para el riesgo de mercado, y las varianzas y las covarianzas entre las variables. Por último, entre los métodos no paramétricos se encuentra la simulación histórica, que utiliza datos históricos para crear una distribución de los rendimientos [36].

A continuación se describen estos métodos para calcular el VaR en un portafolio de inversión.

3.2.1. Métodos paramétricos

Los métodos paramétricos suponen una distribución de probabilidad para el comportamiento del portafolio, la distribución más usada es la normal [37]. El supuesto primordial de estos métodos es que los rendimientos de los activos se distribuyen con una función de densidad de probabilidad normal.

El VaR de un activo individual se calcula con la ecuación 1.

$$VaR = F \times S \times \sigma \times \sqrt{t} \quad [1]$$

Donde F corresponde al valor del nivel de confianza, para un nivel de confianza del 99% el valor de F es 2,33 o para un nivel de confianza del 95% es 1,65, S valor de mercado del portafolio, σ es la desviación estándar del activo y t el horizonte de tiempo.

Para calcular el VaR de un portafolio existen dos formas incluidos en los métodos paramétricos: método de la varianza-covarianza o delta normal y el método de la simulación Monte Carlo.

Método de la varianza-covarianza o delta normal.

Bajo este método, hay tres supuestos simplificados: normalidad, independencia de serie y una ausencia de posiciones no lineales [38]. El supuesto de normalidad implica que los rendimientos de los factores de riesgo se distribuyen normalmente y que su distribución combinada es normal multivariante. De acuerdo con Alexander [39], este supuesto implica que la matriz de covarianza de los rendimientos de los factores de riesgo es todo lo que se necesita para estimar el VaR. En segundo lugar, el supuesto de independencia de serie implica que la magnitud de la estimación del VaR en un día determinado no tendrá ningún impacto en la estimación del VaR en un horizonte más largo, el significado de este supuesto es que el VaR para un horizonte de largo plazo se puede obtener multiplicando la estimación del VaR de un día por la raíz cuadrada del número de días del horizonte requerido. En tercer lugar, el método de varianza-covarianza sólo es adecuado para los portafolios que tienen una relación lineal entre las posiciones de riesgo y de portafolio [36].

Este método estima los cambios en los precios de los activos utilizando los cambios o deltas, en otras palabras, los cambios logarítmicos de los precios.

Supone que el precio de los activos se distribuyen lognormales y que el logaritmo de los rendimientos tienen una distribución normal [40].

Sí los rendimientos de los activos individuales no siguen una distribución normal, se espera que los rendimientos del portafolio sí se comporten como una distribución normal. Esto es explicado por el Teorema del Límite Central, donde las variables aleatorias independientes con comportamientos de distribución, podrán tener una media que converge a una distribución normal cuando la muestra es grande [38].

Este método está basado en la teoría de Harry Markowitz. La media y la desviación estándar del valor del portafolio son calculados desde la media y la desviación estándar de los rendimientos de los productos subyacentes y las correlaciones entre estos rendimientos. De esta forma, para portafolios conformados con más de un activo, se debe calcular los rendimientos esperados, desviaciones estándar y los coeficientes de correlación de cada activo a partir de datos histórico.

Método de simulación Monte Carlo. El método Monte Carlo consiste en replicar una simulación de procesos aleatorios que dominan los precios de mercado. Cada simulación o escenario genera un posible valor del portafolio en el horizonte de tiempo. Al generar suficientes escenarios, los valores simulados de los valores del portafolio convergen en alguna distribución de probabilidad. Por lo tanto, el VaR, es calculado desde la distribución obtenida. Este proceso itera una gran cantidad de veces generando trayectorias de precios aleatorios y los resultados son ordenados de tal forma que pueda determinarse un nivel de confianza específico [41], [40] y [42]. El número de iteraciones a realizar se determina a partir del teorema central del límite, donde a medida que se aumentan las iteraciones, menor será la desviación estándar de los resultados. Por tanto se debe iterar hasta que por cada iteración adicional, el resultado de la simulación no tenga una variación marginal importante [43].

Para aplicar el VaR por este método se consideran los siguientes supuestos de las propiedades de los precios de las acciones [44]:

1. Los precios son continuos en tiempo y valor.
2. Los precios siguen un proceso de Markov, significa que sólo el actual precio es relevante para predecir los precios futuros, por lo que la historia de precios es irrelevante.
3. Los rendimientos de cortos períodos de tiempo tienen distribución normal.
4. El precio de cada acción tiene distribución log-normal.
5. Los rendimientos compuestos continuos tienen distribución normal.

En un mercado eficiente, los precios de los activos se comportan de acuerdo con un proceso estocástico o movimiento geométrico Browniano, la ecuaciones 2 y 3 representan este proceso siendo el modelo de Wiener [42].

$$\frac{ds}{s} = \mu dt + \sigma dz \quad [2]$$

$$dz = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad [3]$$

Reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 2 resulta la ecuación 4.

$$\frac{ds}{s} = \mu dt + \sigma \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad [4]$$

Donde μ representa la media de los rendimientos y σ la desviación estándar de los mismos. ε_t se comporta con distribución normal estándar media cero y varianza uno.

El modelo del movimiento geométrico Browniano indica que los rendimientos de un activo ($\frac{ds}{s}$) está representado por un componente determinístico o componente cierto (μdt) y un componente estocástico o componente incierto ($\sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}$) siendo ε_t ruido blanco.

Para resolver la ecuación diferencial (ecuación 4) y derivar la dinámica del precio de las acciones de manera que el mismo se distribuya en forma lognormal, se debe recurrir al lema Ito para obtener la ecuación 5.

$$S_t = S_{t-1} e^{(\mu - 0,5\sigma^2)dt + \sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}} \quad [5]$$

Para crear escenarios aleatorios se generan números aleatorios (ε_t) con distribución normal estándar con media cero y varianza 1. dt surge de la derivación del proceso e indica el intervalo de tiempo entre t y $t - 1$ [43].

3.2.2. Método no paramétrico

En el método no paramétrico o también llamado de simulación histórica, la distribución histórica de los rendimientos seguirán siendo la misma en los siguientes periodos, por lo tanto las distribuciones empíricas de los rendimientos del portafolio de inversión serán utilizadas en la estimación del VaR. En otras palabras, este método utiliza los percentiles empíricos de la distribución histórica de la serie de los rendimientos, a partir del histograma de frecuencias de los rendimientos, se calcula el primer percentil, es decir, corresponde a un nivel de confianza del 99% y el quinto percentil, un nivel de confianza del 95% [45].

El método de simulación histórica es no paramétrico, donde no es necesario configurar algún parámetro. En general, no necesita asumir que los rendimientos de los factores de riesgo se distribuyen normales e independientes a través del tiempo. Esta característica no paramétrica de la simulación histórica, también elimina la necesidad de estimar volatilidades y correlaciones [42].

4. METODOLOGÍA

Con el objetivo de demostrar los beneficios de la diversificación internacional de portafolios, se conformó un portafolio colombiano de renta variable y se diversificó con ETF internacionales. Las acciones de mayor liquidez de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) corresponden a las empresas ECOPETROL (ECO), Bancolombia acción preferencial (PFBCOLOM), Canacol Energy (CNEC), Pacific Rubiales (PREC) e Isagen (ISAGEN). La BVC realiza para cada mes informes bursátiles y las acciones mencionadas son las cinco de mayor liquidez [46].

Por su parte, *Morgan Stanley Capital International* (MSCI) es un proveedor de índices sobre acciones, bonos y *hedge funds*. Los ETF MSCI replican estos índices y son los de mayor negociación en la bolsa de valores de Nueva York. No obstante, el impacto de la marca MSCI permite que los productos sean



Fig. 1 Desviaciones estándar diarias acciones colombianas y ETF internacionales (Elaboración propia)

puntos de referencia para los gestores de portafolios internacionales [24]. Es por esto que se utilizaron los ETF de la marca MSCI para diversificar internacionalmente el portafolio colombiano y además, el STF SPY que replica el índice bursátil S&P 500 por ser el primer ETF y el de mayor negociación y liquidez.

Para determinar la diversificación internacional de portafolios, los cálculos se realizaron con datos de cierre diario y mensual de las acciones colombianas y los ETF internacionales. Así, se calculó el VaR para los portafolios de inversión con resultados diarios y mensuales.

Por otro lado, la limitación que se encontró con los datos fue con la acción de ECOPEPETROL, es la de menor tiempo en la BVC, es por esto que los datos de los precios de cierre de las acciones y los ETF se utilizaron desde el 2 de agosto del 2010 hasta el 31 de julio de 2015, resultando con 1.197 observaciones para las series diarias y 60 observaciones para las series mensuales.

En este orden de ideas, se parte de un portafolio inicial que conformado por las cinco acciones colombianas con proporciones de inversión iguales, es decir, en cada acción se consideró una inversión del 20% del dinero. Este portafolio se llama portafolio inicial, es el portafolio diversificado, pero sólo con acciones locales, no diversificado internacionalmente. Después, al portafolio inicial se le agregó cada ETF para conformar portafolios diversificados internacionalmente, no se consideró ingresar todos los ETF al mismo tiempo, por el contrario, se realizó de forma individual. De esta forma, con cinco ETF se obtuvie-



Fig. 2 Desviaciones estándar mensuales acciones colombianas y ETF internacionales (Elaboración propia)

ron cinco portafolios con iguales proporciones de inversión en cada activo (16,67% del dinero invertido en cada activo).

Se implementaron dos metodologías tradicionales para calcular el VaR, con las metodologías del VaR paramétrico y no paramétrico se realizaron con niveles de confianza del 99% y 95%, excepto el método Monte Carlo que se realizó con el 95%. Con seis portafolios de inversión y cinco cálculos del VaR, se tiene 30 VaR y además, como los resultados se aplicaron para datos diarios y mensuales, se llega a un total de 60 portafolios, es decir, 60 VaR o Valores en Riesgo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Antes de mostrar los resultados del VaR se detallan algunos parámetros que son insumos como las desviaciones estándar o volatilidades de los activos financieros y los coeficientes de correlación.

5.1. Volatilidades diarias

En la fig. 1 se observa las desviaciones estándar calculadas de las rentabilidades diarias. De las acciones colombianas la de mayor riesgo o volatilidad o desviación estándar es CNEC y la de menor es ISAGEN. Igualmente, se muestra las desviaciones estándar diarias para cada ETF utilizados en el estudio. El de menor volatilidad es el ETF SPY y el mayor

Tabla 1.

Coeficientes de correlación con rentabilidades diarias (Elaboración propia)

	ECO	PFBCOLOM	CNEC	PREC	ISAGEN	SPY	FEZ	EWG	EWJ	EWZ
ECO	1									
PFBCOLOM	0,2631	1								
CNEC	0,1734	0,1179	1							
PREC	0,3789	0,1880	0,1607	1						
ISAGEN	0,2115	0,2128	0,0662	0,1508	1					
SPY	0,2742	0,2555	0,1040	0,2902	0,1723	1				
FEZ	0,2491	0,2266	0,1180	0,2573	0,1533	0,8352	1			
EWG	0,2619	0,2354	0,1197	0,2612	0,1635	0,8442	0,9503	1		
EWJ	0,2280	0,2317	0,1295	0,2096	0,1309	0,6868	0,6529	0,6600	1	
EWZ	0,3291	0,2737	0,1452	0,2790	0,1483	0,6455	0,6326	0,6434	0,4954	1

Tabla 2.

Coeficientes de correlación con rentabilidades mensuales (Elaboración propia)

	ECO	PFBCOLOM	CNEC	PREC	ISAGEN	SPY	FEZ	EWG	EWJ	EWZ
ECO	1									
PFBCOLOM	0,3758	1								
CNEC	0,2817	0,1718	1							
PREC	0,5146	0,0781	0,1710	1						
ISAGEN	0,3028	0,2436	0,0606	0,1485	1					
SPY	0,2045	0,2759	0,1962	0,3751	0,0808	1				
FEZ	0,3150	0,2601	0,2427	0,3808	0,1106	0,7860	1			
EWG	0,0466	-0,1319	0,0675	-0,1032	-0,0904	0,0872	0,2141	1		
EWJ	0,0006	-0,2855	0,0362	0,0278	-0,0302	-0,1150	-0,0202	0,4472	1	
EWZ	0,0637	0,0030	0,0063	0,0321	0,1359	-0,1401	0,0178	0,5020	0,4072	1

EWZ; no obstante, las desviaciones estándar de los ETF son bajas comparadas con las acciones colombianas.

5.2. Volatilidades mensuales

Las volatilidades mensuales son de mayor magnitud por ser el intervalo de tiempo mayor que el diario. En la fig. 2 están las desviaciones estándar mensuales de las acciones y los ETF; la acción de menor volatilidad mensual es ISAGEN seguida de PFBCOLOM y la de mayor volatilidad CNEC; este comportamiento es igual al obtenido con los datos diarios. Con respecto a las volatilidades de los ETF, al igual que en los datos diarios, el SPY es el ETF de menor desviación estándar.

5.3. Coeficientes de correlación

Las correlaciones entre las rentabilidades diarias de todos los activos se observan en la tabla 1. Los ETF están muy correlacionados porque los coeficientes de correlación entre ellos son los más altos; sin embargo, cada ETF tiene correlaciones bajas con las acciones colombianas. El ETF EWJ (Japón) es el de correlaciones más bajas con las acciones, seguido del SPY (S&P 500) y el FEZ (Euro Stoxx 50), no obstante, el ETF de Brasil (EWZ) es el de mayor correlación.

El coeficiente de correlación a partir de las rentabilidades mensual se muestran en la tabla 2. En este caso, los ETF de Alemania (EWG) y Japón (EWJ) tienen correlación negativa con algunas acciones colombianas, siendo estos dos ETF con las correlacio-

Tabla 3.

VaR para los 60 portafolios (Elaboración propia)

METODOLOGÍA	DATOS DIARIOS		DATOS MENSUALES	
	PORTAFOLIO	VaR	PORTAFOLIO	VaR
Delta normal (95%)	PORTAFOLIO INICIAL	2,358%	PORTAFOLIO INICIAL	11,811%
	SPY	2,236%	SPY	9,940%
	FEZ	2,303%	FEZ	10,797%
	EWG	2,298%	EWG	10,455%
	EWJ	2,254%	EWJ	10,237%
	EWZ	2,326%	EWZ	11,010%
Delta normal (99%)	PORTAFOLIO INICIAL	3,544%	PORTAFOLIO INICIAL	14,308%
	SPY	2,870%	SPY	12,758%
	FEZ	2,956%	FEZ	13,858%
	EWG	2,949%	EWG	13,418%
	EWJ	2,892%	EWJ	13,139%
	EWZ	2,985%	EWZ	14,131%
Monte Carlo (95%)	PORTAFOLIO INICIAL	2,927%	PORTAFOLIO INICIAL	13,675%
	SPY	2,454%	SPY	11,043%
	FEZ	2,403%	FEZ	11,052%
	EWG	2,417%	EWG	10,999%
	EWJ	2,391%	EWJ	10,734%
	EWZ	2,474%	EWZ	11,534%
Simulación (95%) histórica	PORTAFOLIO INICIAL	2,522%	PORTAFOLIO INICIAL	11,878%
	SPY	2,262%	SPY	10,454%
	FEZ	2,279%	FEZ	11,447%
	EWG	2,228%	EWG	10,269%
	EWJ	2,279%	EWJ	10,943%
	EWZ	2,281%	EWZ	11,837%
Simulación (99%) histórica	PORTAFOLIO INICIAL	3,284%	PORTAFOLIO INICIAL	13,530%
	SPY	2,867%	SPY	10,809%
	FEZ	2,993%	FEZ	13,341%
	EWG	2,974%	EWG	11,676%
	EWJ	2,862%	EWJ	11,337%
	EWZ	3,150%	EWZ	13,163%

nes más bajas entre las acciones. Estas correlaciones negativas son muy importantes para diversificar los portafolios. En contraste, el ETF FEZ (Brasil) es el de mayores correlaciones con las acciones. A diferencia de los resultados diarios, las correlaciones entre los ETF son bajas existiendo correlaciones negativas.

5.4. VaR portafolios diversificados internacionalmente

En la tabla 3 se encuentran los resultados del VaR para los 60 portafolios. Todos los portafolios diversificados internacionalmente con los ETF obtuvieron VaR menores al del portafolio inicial en cada meto-

dología, tanto en datos diarios como mensuales. Los portafolios que contenían el ETF SPY obtuvieron el VaR más pequeños en las metodologías delta normal y simulación histórica del 99% de confianza. Con los otros métodos, en la simulación Monte Carlo con datos diarios el ETF EWJ obtuvo el riesgo más bajo y con datos mensuales el ETF EWG, en la simulación histórica con 95% de confianza el ETF EWG tanto con rentabilidades diarias y mensuales fue el de mejor diversificación. Por el contrario, los portafolios con el ETF EWZ de Brasil presentaron menor grado de diversificación internacional en todos los métodos excepto el último con el método de simulación histórica con 99% de confianza y datos mensuales, el portafolio de menor diversificación fue el que tenía el ETF FEZ.

De acuerdo con los resultados de los coeficientes de correlación, el ETF EWZ se esperaba que fuera el que menos diversificara los portafolios iniciales al presentar las correlaciones más altas con las acciones colombianas.

6. CONCLUSIONES

Se conformaron 60 portafolios de inversión para determinar los beneficios de la diversificación internacional de portafolios desde el punto de vista de un inversionista colombiano. Los principales resultados son los siguientes. Primero, los cálculos de los VaR con rentabilidades diarias y mensuales evidenciaron los beneficios de la diversificación internacional de portafolios. Segundo, combinar portafolios de acciones colombianas con ETF SPY o EWJ disminuye el riesgo total del portafolio; sin embargo, con el ETF EWZ no se obtuvieron resultados favorables.

Los inversionistas del mercado de valores de Colombia disminuyen la exposición al riesgo al incluir los ETF analizados en este estudio porque con los tres métodos para calcular el VaR se demuestra disminuciones significativas en todos los portafolios diversificados internacionalmente en particular con los ETF SPY y EWJ. El ETF SPY; tanto con rentabilidades diarias como mensuales obtuvo una desviación estándar de menor valor que lo otros ETF y además, los coeficientes de correlación con las acciones colombianas no son los más altos. De igual forma, el ETF de Brasil (EWJ) es el de mayor desviación estándar de todos los ETF, esto generó que diversificara al portafolio inicial en menor magnitud y además, fue el ETF de mayor coeficiente de correlación obtenido con datos diarios de las acciones.

Los coeficientes de correlación más bajos se presentaron entre los ETF y las acciones colombianas con datos mensuales; con estos valores bajos y negativos junto con las bajas desviaciones estándar de los ETF, se logra obtener portafolios menos riesgosos y además, portafolios diversificados internacionalmente.

REFERENCIAS

- [1] L. N. Switzer and C. Tahaoglu, "The benefits of international diversification: market development, corporate governance, market cap, and structural change effects," *Int. Rev. Financ. Anal.*, 2014.
- [2] E. Dimson, P. Marsh, and M. Staunton, *Triumph of the Optimists: 101 Years of Global Investment Return*. Princeton University Press., 2002.
- [3] K. Grundy and B. G. Malkiel, "Reports of Beta death have been greatly exaggerated. Journal of Portfolio Management.," *J. Portf. Manag.*, vol. 22, pp. 36–44, 1996.
- [4] P. Jorion, "International portfolio diversification with estimation Risk.," *J. Bus.*, vol. 58, pp. 259–278, 1985.
- [5] Y. Xu, "Diversification in the Chinese stock market. School of Management," 2003.
- [6] H. Levy and M. Sarnat, "NoInternational portfolio diversification of investment portfolios.," *Am. Econ. Rev.*, vol. 60, pp. 668–675, 1970.
- [7] H. G. Grubel, "Internationally diversified portfolios: welfare gains and capital flows.," *Am. Econ. Rev.*, vol. 58, pp. 1299–1314, 1968.
- [8] D. Lessard, "World, national and industry factors in equity returns.," *J. Finance*, vol. 29, pp. 379–391, 1973.
- [9] W. N. Goetzmann, L. Li, and K. G. Rouwenhorst, "Long-term global market correlations," 2002.
- [10] V. Errunza, K. Hogan, and M. Hung, "Can the gains from international diversification be achieved without trading abroad?," *J. Finance*, vol. 54, no. 6, pp. 2075–2107, 1999.
- [11] B. G. Investors, "Correlation in total portfolio management.," 2006. [Online]. Available: www.ishares.com.
- [12] V. Ragunathan and H. Mitchell, "Modeling the time-varying correlation between national stock market returns.," 1997.

- [13] S. Juna, A. Maratheeb, and H. A. Shawkyc, "Liquidity and stock returns in emerging equity Markets.," *Emerg. Mark. Rev.*, vol. 4, pp. 1–24, 2003.
- [14] V. Vassal, "Risk diversification benefits of multiple stock portfolios.," *J. Portf. Manag.*, vol. 27, pp. 32–39, 2001.
- [15] C. J. Adcock and K. Shutes, "An analysis of skewness and skewness persistence in three emerging markets.," *Emerg. Mark. Rev.*, vol. 6, pp. 396–418, 2005.
- [16] J. Fletcher and A. Marshall, "An empirical examination of the benefits of international diversification.," *J. Int. Financ. Mark. Institutions Money*, vol. 15, no. 5, pp. 455–468, 2005.
- [17] J. Driessen and L. Laeven, "International portfolio diversification benefits: Cross-country evidence from a local perspective.," *J. Bank. Financ.*, vol. 31, no. 6, pp. 1693–1712, 2007.
- [18] J. Estrada, "Fundamental indexation and international diversification.," *J. Portf. Manag.*, vol. 34, no. 3, pp. 93–109, 2008.
- [19] C. S. Eun, W. Huang, and S. Lai, "International diversification with large- and smallcap stocks.," *J. Financ. Quant. Anal.*, vol. 43, no. 2, pp. 489–524, 2008.
- [20] G. Bekaert, R. J. Hodrick, and X. Zhang, "International stock return comovements.," *J. Finance*, vol. 65, pp. 2591–2626, 2009.
- [21] L. Baele and K. Inghelbrecht, "Time-varying integration and international diversification strategies.," *J. Empirical Finance*, vol. 16, pp. 368–387, 2009.
- [22] J. Tu and G. Zhou, "Markowitz meets Talmud: A combination of sophisticated and naïve diversification strategies.," *Journal of Financ. Econ.*, vol. 99, pp. 204–215, 2011.
- [23] P. Christoffersen, V. Errunza, K. Jacobs, and H. Langlois, "Is the potential for international diversification disappearing? A dynamic copula approach.," *Rev. Financ. Stud.*, vol. 25, no. 12, pp. 3711–3751, 2012.
- [24] J. L. Miralles-Marcelo, M. D. M. Miralles-Quirós, and J. L. Miralles-Quirós, "Improving international diversification benefits for US investors.," *North Am. J. Econ. Financ.*, vol. 32, pp. 64–76, 2015.
- [25] K. Li, A. Sarkar, and Z. Wang, "Diversification benefits of emerging markets subject to portfolio constraints.," *J. Empir. Financ.*, vol. 10, no. 1–2, pp. 57–80, 2003.
- [26] I. Vélez, *Decisiones empresariales bajo riesgo e incertidumbre*. Bogotá: Norma, 2003.
- [27] J. Berk and P. DeMarzo, *Finanzas corporativas*. México: Pearson, 2008.
- [28] T. Krause and Y. Tse, "Volatility and return spillovers in Canadian and U.S. industry ETFs.," *Int. Rev. Econ. Financ.*, vol. 25, pp. 244–259, 2013.
- [29] M. Y. Huang and J. B. Lin, "Do ETFs provide effective international diversification?," *Res. Int. Bus. Financ.*, vol. 25, no. 3, pp. 335–344, 2011.
- [30] P. Rowland and L. L. Tesar, "Multinationals and the gains from international diversification.," *Rev. Econ. Dyn.*, vol. 7, pp. 78–826, 2004.
- [31] P. J. Tsai and P. E. Swanson, "The comparative role of iShares and country funds in internationally diversified portfolios.," *Econ. Bus.*, vol. 61, no. 9, pp. 472–494, 1996.
- [32] J. Berril and C. Kearney, "International diversification and the home bias puzzle.," *Econ. Bus.*, vol. 62, no. 4, pp. 235–256, 2010.
- [33] S. P. Hegde and J. B. McDermott, "Firm characteristics as cross-sectional determinants of adverse selection.," *J. Bus. Financ. Account.*, vol. 31, pp. 1097–1124, 2004.
- [34] P. Abad Romero and S. Benito Muela, "A detailed comparison of value at risk in international stock exchanges.," *Doc. Trab. FUNCAS*, vol. 94, no. 452, p. 1, 2013.
- [35] P. Jorion, *Value at risk: The new benchmark for managing financial risk*. USA: McGraw-Hill, 2001.

- [36] G. Sirm, J. Garvey, and L. Gallagher, "Emerging markets and portfolio foreign exchange risk: An empirical investigation using a value-at-risk decomposition technique," *J. Int. Money Financ.*, vol. 30, no. 8, pp. 1749–1772, Dec. 2011.
- [37] J. C. Alonso and L. Berggrun, *Introducción al análisis de riesgo financiero*. Bogotá: ECOE, 2015.
- [38] D. Hendricks, "Evaluation of value-at-risk models using historical data," *Econ. Policy Rev.*, no. Apr, pp. 39–69, 1996.
- [39] C. Alexander, *Value-at-risk models*. England: John Wiley & Sons, 2008.
- [40] I. Khindanova, S. Rachev, and E. Schwartz, "Stable modeling of value at risk," *Math. Comput. Model.*, vol. 34, no. 9–11, pp. 1223–1259, 2001.
- [41] M. Crouhy, D. Galai, and R. Mark, *The essentials of risk management*. New York: McGraw-Hill, 2006.
- [42] A. De Lara, *Medición y control de riesgos financieros.*, 3rd ed. México: LIMUSA, 2009.
- [43] L. Machain, *Simulación de modelos financieros*. Buenos Aires: Alfaomega, 2014.
- [44] C. Sengupta, *Financial Modeling Using Excel and VBA*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- [45] Y. Bao, T. Lee, and B. Saltoglu, "Evaluating predictive performance of value at risk models in emerging markets: a reality check," *J. Forecast.*, vol. 25, no. 2, pp. 101–128, 2006.
- [46] BVC, "Bolsa de Valores de Colombia," 2015. [Online]. Available: <https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/informesbursatiles?action=dummy>. [Accessed: 12-Aug-2015].

Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM)

Development and Implementation of an Artificial Vision System Based on Free Use Languages for the Coach System Products on the Integrated Manufacturing Center (IMC)

Sebastián Amaya-Zapata, Est.

Grupo GEA, Institución Universitaria Salazar y Herrera
Medellín, Colombia
saz.2192@gmail.com

David Pulgarín-Velásquez, Est.

Grupo GEA, Institución Universitaria Salazar y Herrera
Medellín, Colombia
davidpulgarin15@gmail.com

Ingrid-Durley Torres-Pardo, PhD(C).

Grupo GEA, Institución Universitaria Salazar y Herrera
Medellín, Colombia
indrid.torres@iush.edu.co

(Recibido el 01-09-2015. Aprobado el 16-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

S. Amaya-Zapata, D. Pulgarín-Velásquez, I.D. Torres-Pardo, "Desarrollo e Implementación de un Sistema de Visión Artificial Basado en Lenguajes de Uso Libre para un Sistema Seleccionador de Productos de un Centro Integrado de Manufactura (CIM)", *Lámpsakos*, N° 15, pp 43-50, 2016.

Resumen. Este artículo presenta el desarrollo de un sistema seleccionador de productos guiado por visión artificial, utilizando una cámara web integrada al software libre *Python*, que trabaja en conjunto con las librerías *open cv*. El principio de funcionamiento del seleccionador, está basado en un posicionador de objetos, previamente configurado por el usuario usando el sistema de colores *RGB* frente a la lente de la cámara, la cual se encargará de capturar la imagen y procesarla por medio del lenguaje de software. El sistema, permite informarle al usuario si la pieza ingresada al sistema es de los colores y la forma deseada por él. Con esto se logra una clasificación de objetos eficaz tanto en color, como en forma.

Palabras clave: Visión artificial; Manufactura; Línea de producción.

Abstract. This project is a products selector system guided by machine vision, using an integrated webcam by python free software in conjunction with the *OPEN-CV* software. The operating principle is positioning objects of a color previously set by the user, using the *RGB* color system in front the lens, which take care of image capture and processing through language software. The system, permits inform the user if the piece have the color entered and the shape requested. With this program we made an effective identification both in color and shape.

Keywords: Artificial Vision; Manufacturing; Production line.

1. INTRODUCCION

La visión artificial trata de simular los procesos visuales del hombre y analizarlos por medio de un cerebro al igual que los seres humanos, de tal manera que si los humanos pueden transmitir imágenes tomadas por medio de la vista y analizarlas utilizando pulsos enviados al cerebro, una máquina puede, utilizando una cámara web, captar imágenes y enviarlas a un procesador, listo para analizarlas de tal manera que la máquina pueda examinar el color y la forma de ciertos objetos. Aunque en esencia el funcionamiento parece simple, la tarea de identificar desde la cámara, un objeto específico, con el procesador, para que sea elegido por el seleccionador, resulta demandante en su programación. Este caso, constituye una situación real de aplicación de un sistema de visión artificial, articulado con un seleccionador de productos, de un centro Integrado de Manufactura, el cual permite al usuario, interactuar mediante una interfaz gráfica, para seleccionar el objeto en forma y color, que requiere sea elegido por el seleccionador, a fin de automatizar procesos de producción y de igual manera se busca observar cómo el software libre permite el uso y el diseño de un mayor número de aplicaciones para el reconocimiento de imagen y la clasificación de objetos, lo que conlleva a una mejor calidad en términos de identificación de variables y su tratamiento y al mismo tiempo permite una mayor compatibilidad con diferentes plantas lo que facilita su utilización.

Con el fin de brindar más detalle del caso de aplicación desarrollado, este artículo se organiza como sigue: la sección 2 detalla cada etapa del método propuesto; la sección 3 se ocupa de contextualizar los principales conceptos asociados con el tema de aplicación; la sección 4, implementa una a una las etapas del método pero esta vez orientadas a la consecución del robot objetivo. La sección 5, recopila los resultados obtenidos y finalmente, en la sección 6, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Actualmente se han hecho muchos avances con respecto a la visión artificial y a los sistemas de procesamiento de imágenes, por el hecho de que este es un campo que tiene mucho potencial y muchas instituciones, tanto universidades como industrias, han estado investigando cómo aplicar y cómo mejorar los actuales sistemas de visión artificial y procesamien-

to de imagen; en esta sección se mostrarán algunos trabajos relacionados con el tema de la visión artificial y su utilidad en el desarrollo de la investigación.

El informe “Measuring system of the slab’s position in a metallurgical plant using artificial vision techniques” [4], muestra la creación de un sistema capaz de utilizar cámaras de resoluciones comunes que le permitan al usuario identificar las mejores posibilidades lumínicas del ambiente, esto puede aportar a la investigación el análisis de luz para el debido reconocimiento de la imagen ya que la luz del ambiente y la luz de las lámparas fluorescentes pueden afectar la medición; a su vez las condiciones de luz en las que va a trabajar el sistema de reconocimiento de imágenes son relativamente variables y el hecho de analizar la luz ambiental y tener un método que analice variables como saturación y luminancia le pueden aportar mucha más precisión al sistema a desarrollar [1].

Una de las implementaciones de los sistemas de visión artificial más interesantes posee gran similitud a lo que se busca en esta investigación ya que habla de la implementación de un sistema clasificador de papas el cual usa un sistema de cámaras tanto ópticas como laser, que le permiten al sistema analizar el color y el diámetro de las papas para su posterior clasificación, clasificando 750 papas por hora, el conocimiento de este sistema sería un gran aporte a la implementación del sistema propuesto [3].

[6] A la hora de trabajar con visión artificial la información del procesamiento de imágenes es uno de los aspectos más importantes en lo que a visión artificial se refiere y que es un tema de discusión ya que el fundamento principal para un sistema de visión artificial es el procesamiento de imagen de los humanos, ¿Cómo trabaja el ojo humano? , ¿Cómo procesa el ojo humano?, al mismo tiempo [7] un robot totalmente capaz de interactuar con los humanos basándose en sistemas de reconocimiento facial para identificar la persona con la cual interactúa y además de reconocimiento de gestos faciales es una gran muestra del alcance de la visión artificial.

Otros avances en términos de visión artificial han sido la implementación de sistemas de visión artificial a robots motorizados tanto terrestres (carros) [5], como aéreos [2], estos aplicativos muestran como la visión artificial puede dar cierta autonomía a una máquina.

3. CENTRO INTEGRADO DE MANUFACTURA (CIM)

Un Centro Integrado de Manufactura, es aquel sistema que proporciona una estructura que agiliza la descripción, la ejecución, y el planteamiento de un proceso de producción. El seleccionador de productos, por su parte, es un elemento clave, en la articulación de la elaboración, ya que permite seleccionar y distribuir las piezas por tipo de material y color.

Actualmente, los seleccionadores actúan de dos formas, i) articulados con un mecanismo semiautomático que permita la producción a través de la un hardware y la intervención de un humano, o, ii) a través de un programa de software que automatice el proceso de selección. En este último caso, una de las técnicas más exitosamente aplicada, está representada en un programa de software, que actué con “inteligencia”, comprendiendo lo que desea el usuario y comparándolo con distintos algoritmos a fin de detectar mediante la segmentación el reconocimiento de ciertos objetos.

La propuesta de este artículo, relacionada con el mecanismo funcional del seleccionador, se apoya en la utilización de una cámara web, y un programa de software, que selecciona el color de la pieza, y el tipo de forma de la misma, mediante una técnica de segmentación, de esta manera identifica el objeto, que el usuario desea seleccionar en el proceso de producción industrial. El software, está conectado a los inputs del PLC del hardware del seleccionador, de esta manera la selección digital, se ejecuta en real. El motor y las electroválvulas están conectados a los outputs del PLC, tal como se muestra en fig. 1.

Este modelo se puede utilizar en diversas industrias ayudando a la selección y distribución de distintas piezas por el tipo de material y color, pudiendo mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de producción y mejorando la calidad de la misma.

El prototipo de selector automático de materiales y colores nos permite realizar las operaciones difíciles de controlar manualmente [11], simplificando el trabajo de forma que el proceso no requiera de constantes verificaciones en la selección de las piezas por tipo de material y color.

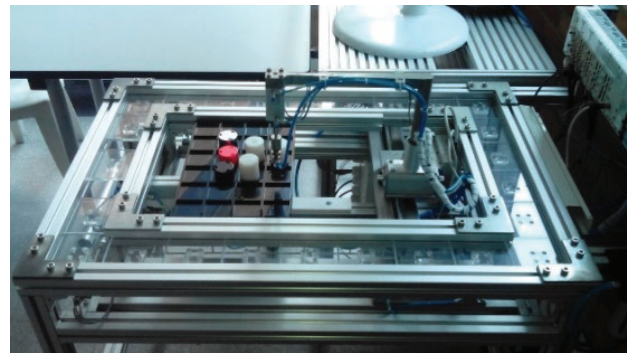


Fig. 1 Sistema seleccionador de productos

4. ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROPUESTO

El seleccionador de productos actuará sobre la identificación de las características básicas de color y forma de un objeto, utilizado para ello, un software, que se encargará de hacer los múltiples filtros necesarios para la identificación de imágenes; además de contar con una interfaz gráfica donde el usuario ingresará los valores de los colores y la forma que desea identificar; el ordenador donde se hará el procesamiento de la imagen, actuará en concordancia con una cámara web conectada de manera directa, que reconocerá los objetos al igual que los reconoce el ojo humano, y un micro controlador (arduino nano) encargado de hacer la comunicación con el PLC y las diferentes piezas con las cuales se comprueba el funcionamiento de un sistema de control [10]. Los elementos, que conforman la articulación del sistema pueden ser visualizados en la fig. 2, donde sus principales componentes se agrupan en hardware y software.

4.1. Hardware

En hardware se citan las siguientes partes:

a) **Cámara** o sensor que permita capturar la imagen y transmitirla a un ordenador en donde serán procesadas y se tomarán las debidas decisiones para su posterior clasificación.

b) Un mecanismo de procesamiento de imagen que necesita un procesador y algoritmos que permitan hacer un filtrado de la imagen, reconocimiento de las formas y su clasificación

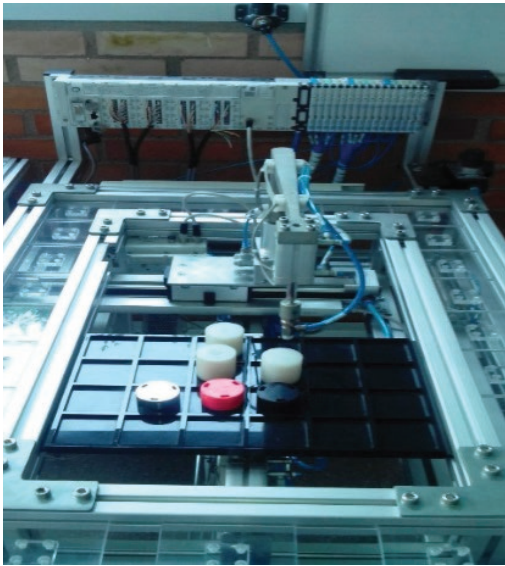


Fig. 2 Sistema seleccionador de productos

c) Un sistema de clasificación de productos el cual está conformado por distintas piezas de hardware, con las cuales es posible ejecutar las actividades necesarias para la debida clasificación de las piezas según su color y su forma.

El sistema seleccionador de productos requiere ciertas piezas fundamentales para su funcionamiento, tales como, un controlador el cual alimenta al sistema de piezas que por medio de actuadores electro-neumáticos se encargan de clasificar las piezas por forma y color según lo desee el usuario (ver fig. 2).

Una plataforma de desarrollo libre, como arduino la cual tiene como tarea hacer la comunicación entre el computador y el PLC (control lógico programable). Este último, encargado de generar los procesos que surtirán de piezas el sistema y que posteriormente clasificarán según como los pida el usuario (ver fig. 3).

4.2. Software

El programa de software, es el que ejerce la acción real de visión humana y está representado principalmente por un algoritmo seleccionador de imágenes el cual para el caso ha sido diseñado, utilizando lenguajes [13] y librerías de desarrollo libre [12]. La tabla 1, presenta un breve análisis de los lenguajes analizados, para su selección.

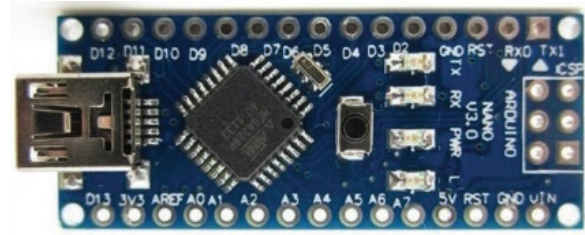


Fig. 3 Arduino nano

Para alcance de este trabajo se ha seleccionado Python, debido a su versatilidad, al mismo tiempo que la facilidad de ser utilizado con los protocolos de internet como HTTP, FTP, SMTP, XML-RPC, POP, IMAP, CGI.

5. IMPLEMENTACIÓN FUNCIONAL DE LA ARQUITECTURA

Como puede apreciarse en la fig. 4, el sistema es disparado por el humano, quien interactúa a través de una interfaz gráfica del software para seleccionar y elegir el objeto (en forma y color). Los detalles de los pasos funcionales son descritos a continuación, además de mostrar el resultado de los análisis para la selección del lenguaje y la librería sobre la cual se implementaría el sistema, y las diversas partes del código diseñado para el funcionamiento del sistema de identificación de imágenes.

5.1. Selección del lenguaje y la librería

Una vez analizados los lenguajes se determina que el mejor lenguaje para trabajar el sistema de visión artificial que se integrará en el centro integrado de manufactura es el lenguaje python junto con la librería open cv, con la desventaja de que esta es la única librería que maneja para el tratamiento de imágenes; python es un lenguaje de alto nivel que nos da la posibilidad no solo de modificar el programa en cualquier momento sino que la estructuración del lenguaje se realiza en un código simple y fácil de entender por si otro programador desea analizar el código implementado; además por ser un lenguaje libre existe gran cantidad de información acerca de este lenguaje, desde literatura básica para el uso de comandos, como cursos virtuales que le permiten al usuario aprender a manejar este lenguaje fácil y rápido; por último y lo más importante es el consumo de recursos que emplea este lenguaje, siendo un lenguaje de

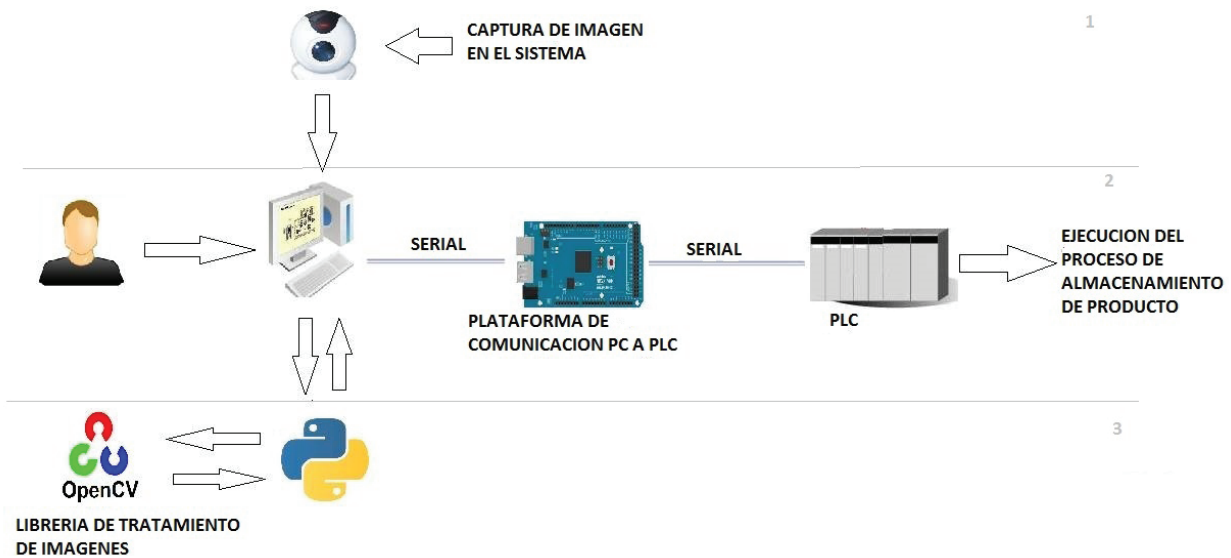


Fig. 4 Arquitectura del sistema

Tabla 1.

Comparación de los lenguajes de software libre

Lenguaje	Librerías compatibles	Ventajas	Desventajas
C++	Torch3vision, VLX, openCV	Es un lenguaje de bajo nivel lo que nos permite modificar todos los detalles del código si ningún problema, su ejecución es rápida ya que no consume gran cantidad de recursos, es compatible con todas las librerías.	La complejidad de sus códigos es alta lo cual lo hace difícil de leer y de ejecutar en plataformas diferentes.
Java	openCV	Es un lenguaje interpretado, lo que nos permite ejecutarlo bajo cualquier plataforma sin tener que recompilar el programa, hay mucha bibliografía disponible.	El consumo de recursos es alto por procesos innecesarios que se ejecutan, la coordinación con la librería resulta bastante complicada y la lectura del código aún es muy compleja.
Python	openCV	Es un lenguaje interpretado lo que permite ejecutarlo en cualquier plataforma sin necesidad de recompilar, su escritura y lectura de código es bastante simple facilitando la construcción de programas complejos y la integración a múltiples librerías y tiene una gran cantidad de bibliografía disponible.	Su consumo de recursos es alto aunque no tanto en comparación con otros lenguajes de alto nivel.

alto nivel se supondría que su consumo de recursos es muy elevado, sin embargo, es un lenguaje con un consumo de recursos bajo en comparación con los otros lenguajes de alto nivel lo que lo hace el lenguaje libre más viable para su utilización en el diseño del software de visión artificial.

5.2. diseño del software

El diseño se compone de tres partes las cuales se explicarán a continuación.

Interfaz gráfica: esta interfaz desarrollada en la librería PYQT como extensión del PHYTON nos permite interactuar fácilmente con el programa, otorgando una interfaz amigable e intuitiva para los usuarios.

Constructor: esta sección se encarga de ensamblar la interfaz gráfica y el programa de identificación de imágenes en un solo programa dándole así la funcionalidad a la interfaz.

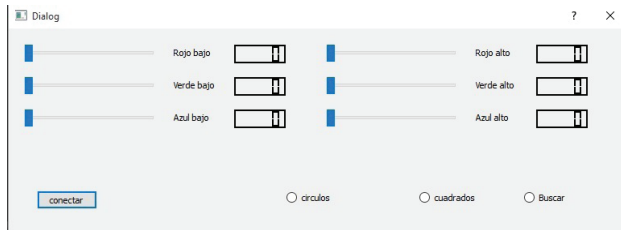


Fig. 5 Interfaz del sistema

Cuerpo principal: para finalizar nos encontramos con el cuerpo principal del programa, el cual nos permite generar la aplicación compatible con Windows y así poder ejecutar el programa en cualquier computador con Windows.

5.3. Etapas de funcionamiento

Etapa de Configuración: en esta etapa el usuario se encarga, por medio de la interfaz, de darle la orden al sistema, de los rangos de colores en RGB que serán necesarios para la identificación del objeto en su color. Mientras la forma será seleccionada a través de la selección de una de las opciones de los tipos de objetos disponibles (ver fig. 5).

Etapa de Visión: una vez seleccionados los valores de rango en los cuales se desea identificar el objeto, se pasa a la etapa de visión donde por medio de una cámara física, la cual debe ser integrada por medio de código en el sistema (ver fig. 6), se capta la imagen que luego es identificada.

Etapa de Reconocimiento: la etapa de reconocimiento se encarga de filtrar las imágenes captadas y enviadas por la cámara; este reconocimiento se hace mediante el análisis de fotogramas [9] (análisis de una foto por lapso de tiempo), en la cual se identifica en primer lugar el color (ver fig. 7), una vez se tenga el color que el usuario determinó en la interfaz se analizan los fotogramas (los fotogramas por segundo son modificables en el código); con estos fotogramas y los filtros de formas, el software determinará la forma del objeto, si es un círculo un cuadrado entre otras figuras.

Etapa de Clasificación: esta es la etapa final del proceso en donde una vez se tenga determinado el color y la forma de la pieza se manda una instrucción a un arduino (ver fig. 8), que es una plataforma de

```
def iniciar_camara(self):
    ser = serial.Serial('COM5', 9600)
    while True:
        com_ent = ser.read()
        if com_ent == 'c':
            ser.write("r")
            break
    cap = cv2.VideoCapture(1)
```

Fig. 6 Etapa de visión

programación y prototipado, la cual es el medio de comunicación y el encargado de enviar las instrucciones requeridas por el ordenador al sistema electro neumático.

6. RESULTADOS

Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos en la identificación, para obtener el reconocimiento de color y forma mostrados, en la fig. 9 y fig. 10 se ubicó la ficha en frente de la cámara, para continuar con la modificación aleatoria de los diferentes valores utilizando el rango de colores RGB (red, Green, blue) debido a que la calidad de la identificación se ve afectada por dos factores básicos [8], el primero es la resolución de la cámara, si se posee una cámara de mayor resolución el color sería más real y no se alterarían los colores con base en el color primario del lente, en este caso el azul, y como segundo factor influyente es la luz, esta altera también el color de la ficha ya sea aclarándolo u oscureciéndolo.

El sistema seleccionador de productos una vez terminada su implementación obtuvo los siguientes resultados en la adquisición y reconocimiento de las imágenes (ver fig. 9)

Se observa como el sistema está identificando los objetos de color plateado y al mismo tiempo esta identificando y afirmando que la figura es un círculo.

Se muestra cómo el sistema identifica el color naranja y resalta el hecho de que es un cuadrado (ver fig. 10).


```
_, imagen = cap.read()
# Establecemos el rango de colores que vamos a detectar
color_altos = np.array([ra, ga, ba], dtype=np.uint8)
color_bajos = np.array([rb, gb, bb], dtype=np.uint8)
# Crear una mascara con solo los pixeles dentro del rango de color
mask = cv2.inRange(imagen, color_bajos, color_altos)
```

Fig. 7 Etapa de reconocimiento

```
elif self.ui.boton_buscar.isChecked()== True and self.ui.boton_cuadrados.isChecked()== True:
    i = 0
    for extension in areas:
        if extension > 2000:
            actual = contours[i]

            # Aproximar el numero de vertices
            approx = cv2.approxPolyDP(actual, 0.01 * cv2.arcLength(actual, True), True)

            # la deteccion del objeto se hace por el numero de vertices detectados
            if len(approx) == 4:
                cv2.drawContours(imagen, [actual], 0, (0, 0, 255), 2)
                ser.write('d')

            #enviar caracter de deteccion al arduino
```

Fig. 8 Etapa de clasificación

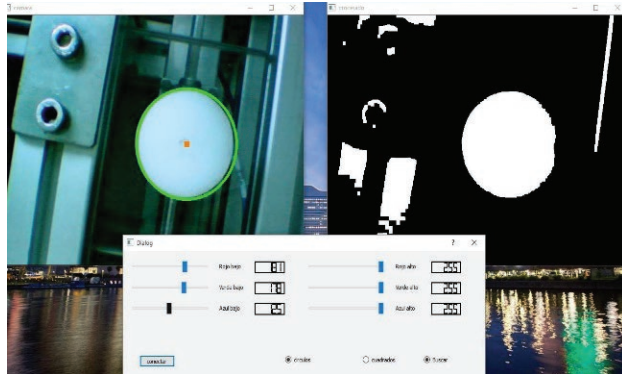


Fig. 9 Reconocimientos de círculos

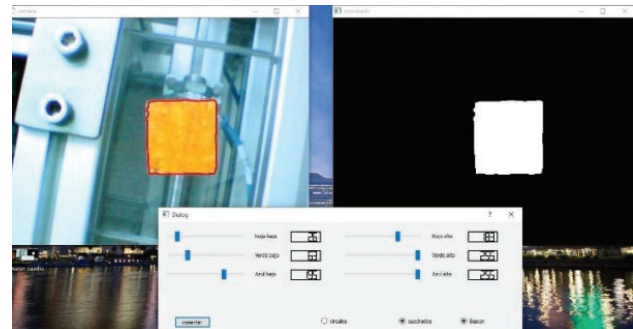


Fig. 10 Reconocimientos de cuadrados

7. TRABAJO FUTURO

Como trabajo se espera, ampliar el conjunto de objetos con los cuales pueda trabajar el seleccionador, variando en materiales como sintéticos, cueros y texturas textiles.

8. CONCLUSIONES

La visión artificial es una herramienta muy útil al momento de automatizar un proceso de control.

Actualmente la visión artificial es cada vez más fácil de implementar gracias a los lenguajes y plataformas de desarrollo libre. Este trabajo, es una evidencia de una actividad simple de reconocimiento de objetos y su articulación para que el sistema trabaje de manera coordinada, y automatizar así procesos de producción.

Los lenguajes libres otorgan al usuario una mayor comodidad a la hora de programar un entorno de visión artificial, no solo por su gran compatibilidad con múltiples sistemas y librerías, sino también por su estructura de código simple y fácil de entender lo

que le permite al usuario adaptar estos sistemas en muchos más ambientes tanto en la industria como en la academia.

El uso de visión artificial en un seleccionador de productos es una herramienta de gran ayuda que permite agilizar los procesos de selección y clasificación de objetos.

Como trabajo futuro, se propone incrementar la base de datos de objetos y ampliar la escala de color, además de permitir que el sistema pueda ser adaptado a otros modelos de producción.

REFERENCIAS

- [1] J. Angulo y J. Serra, "Image Color Segmentation using Bi-variate Histograms in Luminance/Saturation/Hue Polar Color Spaces," *Comp. y Sist.*, vol. 8, no. 4, pp. 303-316, 2005.
- [2] A. Gaujens, A. Benini, A. Mancini y S. Longhi, "Autonomous navigation, landing and recharge of a quadrotor using artificial vision," de *IEEE/ASME 10th International Conference on*, orlando , 2014.
- [3] Y. Fernandez, A. Sariana y R. Swenson, "Fernandez, Y., Sariana, 'Development of a prototype for classification of potato mini-tubers based on artificial vision'," de *Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, CCE, 2009 6th International Conference on*, Toluca, 2009.
- [4] L. Frangu y S. Caraman, "Measuring system of the slab's position in a metallurgical plant using artificial vision techniques," de *Electronics, Circuits and Systems, 1999. Proceedings of ICECS '99. The 6th IEEE International Conference on (Volume:2)*, Pafos, 1999 .
- [5] F. Gonzalez, J. Guarnizo y G. Benavides, "Emulation System for a Distribution Center Using Mobile Robot, Controlled by Artificial Vision and Fuzzy Logic," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)* , vol. 12, no. 4, pp. 557-563, 2014.
- [6] J. Liu y X. Gou, "Information processing model of artificial vision prosthesis," de *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2010 2nd International Conference on (Volume:2)*, Chengdu, 2010.
- [7] C. Salcedo, C. Pena, J. de Jesus Cerqueira y A. Lima, "Designing a Real Time Artificial Vision System for Human Interaction with an Omnidirectional Mobile Platform," de *Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium (SBR-LARS), 2012 Brazilian*, Fortaleza, 2012 .
- [8] J. Humberto, *Visión artificial : rasgos descriptores para el reconocimiento de objetos*, Madrid: Ma-Ca S.A., 2014.
- [9] J. Humberto y R. Rodriguez, *Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes*, Madrid: Ma-Ca S.A., 2011.
- [10] J. Monso, *Sistemas de identificación y control automáticos (II)*, Barcelona: Marcombo, S.A., 1994.
- [11] A. Sanchez, *Aplicaciones de la visión artificial y la biométrica informática*, Madrid: Editorial Dykinson, 2005.
- [12] Comunidad Open CV, "open CV", Documentación [Online]. Available: www.opencv.org
- [13] Comunidad Python, "Python Programming", [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/faq/general.html#what-is-python-good-for>.

Generador de Valores de Casos de Prueba Funcionales Generator of Values for Functional Test Cases

Arloys Macías-Rojas, Ing.

Centro Universitario José Antonio Echeverría
La Habana, Cuba
amacias@ceis.cujae.edu.cu

Martha Dunia Delgado-Dapena, PhD.

Centro Universitario José Antonio Echeverría
La Habana, Cuba
marta@ceis.cujae.edu.cu

Jenny Fajardo-Calderín, MSc.

Centro Universitario José Antonio Echeverría
La Habana, Cuba
jfajardo@ceis.cujae.edu.cu

Danay Larrosa-Uribazo, Est.

Centro Universitario José Antonio Echeverría
La Habana, Cuba
dlarrosau@ceis.cujae.edu.cu

(Recibido el 20-10-2015. Aprobado el 16-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

A. Macías-Rojas, M.D Delgado-Dapena, J. Fajardo-Calderín, D. Larrosa-Uribazo "Generador de Valores de Casos de Prueba Funcionales", *Lámpsakos*, no. 15, pp 51 - 58, 2016.

Resumen. Diversos autores coinciden en la importancia de las pruebas como elemento de control de calidad del software y en la imposibilidad de realización de pruebas exhaustivas. Este criterio está sustentado en que la cantidad de escenarios y valores de prueba necesarios para lograr cobertura total es grande, lo que convierte el diseño de casos de prueba y en particular la generación de sus valores en un problema combinatorio.

Este trabajo presenta una propuesta para la generación automática de valores de casos de prueba funcionales, mediante el uso de algoritmos metaheurísticos, maximizando la cobertura de los escenarios.

Además, se detallan los algoritmos implementados para la generación de valores iniciales y para la generación de combinaciones.

Adicionalmente se describen un conjunto de buenas prácticas para utilizar el componente y la comparación de los resultados obtenidos con otras soluciones existentes.

Palabras clave: Diseño de casos de pruebas; Generación de valores de prueba; Pruebas de software; pruebas funcionales.

Abstract. Several authors agree with the importance of the tests like element of quality control of the software and in the impossibility of their realization of exhaustive way. This opinion defends that, the necessary quantity of stages and test values to achieve the maximum coverage is too big, what converts the test-case design, and in particular the generation of its values, in a combinatorial problem.

That's why, in many instances, in front of the impossibility of covering all the stages, testers leave out of the design some interesting values, which can discover inconsistencies with the specified requirements.

This work presents a proposal for the automatic generation of values of functional test cases, by means of the use of meta-heuristic algorithms and maximizing the coverage of the stages. Furthermore, the algorithms implemented for the generation of initial values and for the generation of combinations are detailed. Additionally a set of good practices to use the component and the comparison of the obtained results with other existing solutions are described.

Keywords: Test Cases Design; Test Values Generation; Software Test; Functional Test.

1. INTRODUCCIÓN

Según [13] las pruebas son muy costosas por lo que se dejan para las últimas etapas del proyecto y no se realizan con la calidad necesaria. No obstante, existen múltiples propuestas que se centran en la planificación y cálculo de los medios indispensables para realizarlas [11], [15], así como en la generación automática de escenarios [3] y valores de prueba [2]. Estas propuestas persiguen el objetivo fundamental de disminuir los tiempos asociados a este proceso; simplificar su ejecución por parte de desarrolladores y probadores; y alcanzar amplios grados de cobertura disminuyendo el tiempo empleado para su realización. No obstante, el número de combinaciones continúa sin reducirse significativamente, debido a que no se incorporan técnicas que permitan reducir el espacio de búsqueda, o criterios provenientes de la disciplina de Ingeniería de Software que reduzcan el espacio de combinaciones resultantes.

Para resolver la problemática planteada los autores del presente trabajo llevan a cabo el proyecto Testeo Temprano, en el que se intenta maximizar cobertura de escenarios con el menor número de combinaciones de valores posibles. Para ello, se generan combinaciones de valores que cubren las combinaciones de particiones equivalentes asociadas con cada escenario diferente de la funcionalidad que se intenta probar.

La hipótesis de este trabajo se basa en que la implementación de mecanismos automáticos que combinen el uso de algoritmos heurísticos con técnicas tradicionales de diseño de casos de prueba, permite obtener al menos una combinación de valores para cada escenario de prueba, según el nivel de cobertura de escenarios especificado.

En este artículo se presenta el componente de software GeVaF, el cual automatiza una propuesta que combina algoritmos heurísticos con la técnica de diseño de casos de pruebas de particiones equivalentes. Se describen las características generales de GeVaF y una comparación con el uso de métodos heurísticos sin las técnicas de diseño provenientes de la Ingeniería de Software.

2. MARCO TEÓRICO

La generación automática de escenarios y valores de prueba es un problema combinatorio, donde intervienen un gran número de variables, por lo que se dificulta su solución cuando se aplican técnicas tradicionales, o si la cantidad de combinaciones es tan grande e inmanejable que no se puede decidir cuáles seleccionar. En [8] se exploran algunas de las respuestas que brindan las temáticas de la “Ingeniería de Software Basada en Búsquedas” para dar solución a problemas combinatorios utilizando métodos de optimización [2], [7]. Además, existen trabajos recientes que automatizan la realización de las pruebas de software con respecto a la generación de escenarios y valores de prueba, utilizando técnicas para evadir la explosión combinatoria [4], [8], [9].

En [4] y [1] se describe el empleo de algoritmos de búsqueda para la generación de casos de prueba para programas orientados a objetos desarrollados en Java, estas propuestas se centran en la generación de caminos independientes, no así de los valores. En [18] se hace un recorrido por las diversas técnicas de búsqueda que se han aplicado para la generación de datos de prueba estructural [6], [12], [14], [19]. En [5] proponen un modelo puro basado en el algoritmo “Búsqueda Tabú” para la generación automática de valores para casos de prueba. Mientras que en [10] se presenta una solución basada en, la fusión de una metaheurística poblacional con una lista Tabú, lo que se conoce como un algoritmo memético, para gestionar el problema de la generación de caminos para casos de prueba. En [4], [7] se propone la generación de casos de pruebas a través del empleo de heurísticas y de técnicas de ingeniería de software basadas en la búsqueda. Estas alternativas se centran en el desarrollo de valores para alcanzar un nivel de cobertura particular de los ambientes [17].

Los aportes fundamentales de las propuestas antes mencionadas están dirigidos a la utilización de algoritmos metaheurísticos y diversas modificaciones a estos algoritmos, pero no tienen en cuenta la naturaleza propia de los métodos de diseño de casos de prueba [16]. Estos métodos que provienen de la disciplina de “Ingeniería de Software” se utilizan de forma empírica, pero no han sido incorporados a estas propuestas, lo que hace que el rango de valores que se utiliza como punto de partida para la generación de valores de prueba siga siendo grande, y por tanto el problema combinatorio continúe sin reducirse

significativamente. Estos métodos de diseño tradicionales constituyen la base conceptual del diseño de los casos de prueba en la Ingeniería de Software y debieran incorporarse a estas nuevas soluciones con el objetivo de reducir las combinaciones de valores a generar, logrando cubrimientos similares de los escenarios de prueba.

Las propuestas existentes en generación de valores tampoco utilizan el hecho de que varias combinaciones de valores pueden abarcar el mismo escenario representado y por tanto este elemento podría reducir el número de combinaciones de valores, de forma tal que se maximice la cantidad de escenarios cubiertos.

3. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE VALORES DE PRUEBAS

La propuesta del artículo automatiza un modelo de optimización que combina el uso de algoritmos heurísticos con la técnica de diseño de casos de prueba de particiones equivalentes. Para ello se diseña e implementa el componente GeVaF y posteriormente, se comparan los resultados obtenidos contra los casos de prueba sin las técnicas de Ingeniería de Software.

El objetivo fundamental de GeVaF es brindar las combinaciones posibles de valores de prueba de manera reducida utilizando metaheurísticas, a partir de las características de los atributos.

3.1. Generador de valores de pruebas

El Generador de Valores de Pruebas (GeVaF), genera los valores a partir de las características de los atributos, dadas por el usuario, miembro del equipo de proyecto, en el momento de realizar la descripción detallada correspondiente a un requisito funcional que deriva en un caso de uso del sistema. En la fig. 1 se muestra el diagrama de casos de uso de GeVaF.

El enfoque utilizado para la estructuración en capas del componente desarrollado está basado en reutilización, y se ilustra en la fig. 2. La vista de la arquitectura se encuentra proyectada en dos capas: capa específica y capa general.

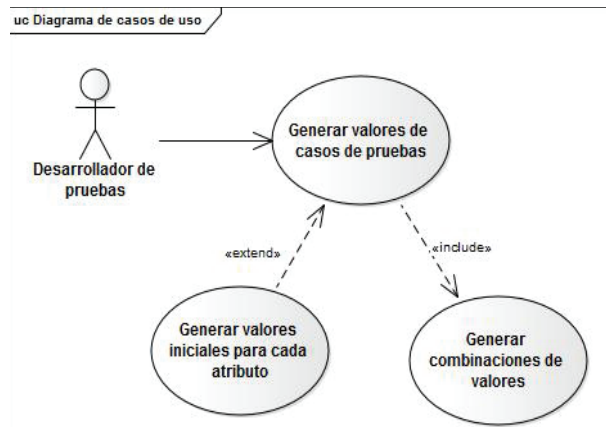


Fig. 1 Diagrama UML con los casos de uso de GeVaF.

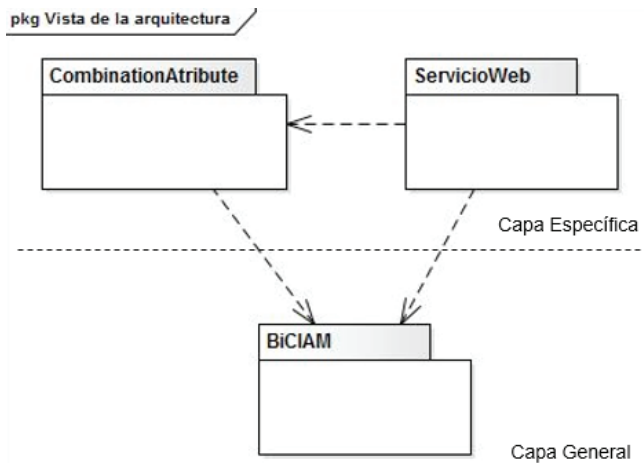


Fig. 2 Diagrama UML con la Vista de Arquitectura de la solución

3.2. Elementos del modelo

Capa Especifica: se muestran los elementos (paquetes) del sistema actual, que no son reutilizados. A continuación se muestra una breve explicación de su contenido:

CombinacionAtribute. Contiene las diferentes clases que logran la definición del problema, como “CombinacionesMutationOperator” que contiene los operadores específicos del problema; “Atributo” que contiene el nombre, valor y estado de un atributo; “AtributoValores” que se encarga de las funcionalidades referentes a los atributos y sus valores posibles; “Combinaciones” que define la cantidad de variables

y combinaciones a crear, y "ProblemaDatos" que controla las operaciones referentes a la lista de "AtributoValores" que posee.

ServicioWeb. Se encarga de la codificación y configuración de la capa de servicio del componente y entre sus principales clases se encuentra, "Service" que maneja la lista de combinaciones y todos los métodos del servicio web necesarios para devolver lo que se quiere mostrar cuando se consuma el servicio; "ServiceExponer" que es donde están los métodos que se van a exponer en dicho servicio a la hora de consumirlo, y la clase "Tester" que se encarga de la configuración del problema, y de los algoritmos que se vayan a ejecutar desde BiCIAM.

Adicionalmente se implementó una aplicación cliente que, aunque no forma parte de la solución propuesta, consume los servicios definidos en el paquete ServicioWeb. Esta aplicación se creó con el objetivo de simular el comportamiento de un cliente que pretende consumir el ServicioWeb mencionado con anterioridad, y así comprobar y validar los resultados obtenidos en dicho servicio.

Dentro de estos paquetes se encuentran las clases que abstraen el problema del algoritmo, permitiendo que estas sean empleadas para su definición. Todos los elementos que se encuentran en esta capa cumplen con la cualidad de ser específicos al problema de generar las combinaciones y de no ser reutilizables para solucionar otros problemas.

Capa General: se muestran los elementos de cualquier nivel de responsabilidad (al igual que en la capa anterior) pero que son reutilizados. Entre los elementos se encuentra BiCIAM que es la biblioteca de clases que implementa algoritmos metaheurísticos basada en un modelo unificado de estos algoritmos.

Para una mayor comprensión del funcionamiento del componente GeVaF, en la fig. 3 se muestra un diagrama de flujo con las principales actividades que se realizan y los objetos necesarios durante su ejecución.

Con la culminación de este componente se puede contar con una solución que resuelve la situación problemática de tres formas distintas y de fácil uso para el usuario que la utilice. La primera variante es utilizando este componente en otra aplicación que capture los dominios de cada atributo a través de

act Diagrama de flujo

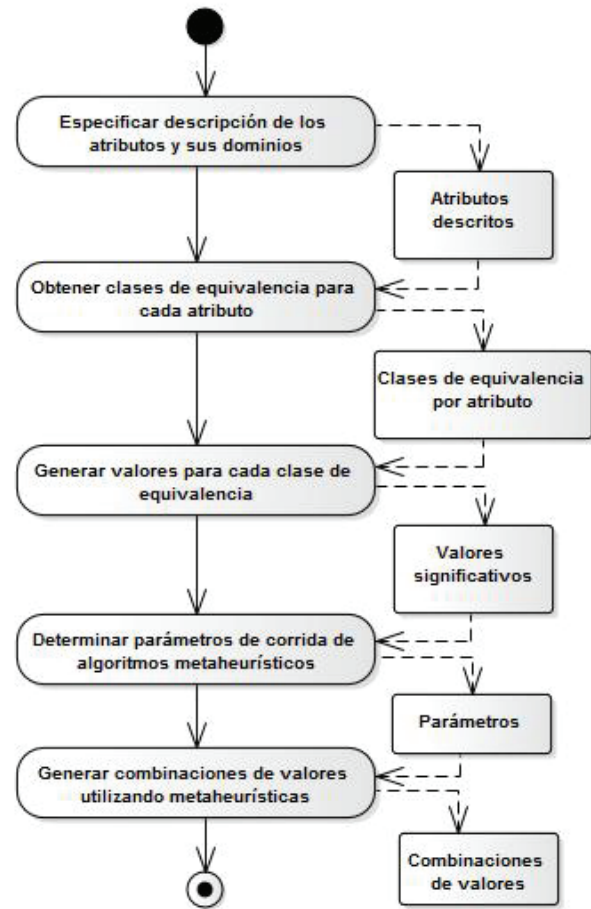
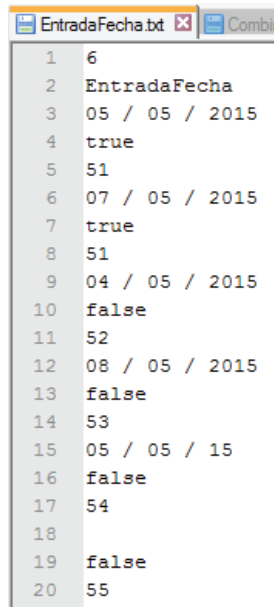


Fig. 3 Diagrama de flujo del componente GeVaF

una interfaz de usuario con el objetivo de evitarles a los futuros interesados la obligación de consumir un servicio. De esta forma se podrá obtener las combinaciones de valores para casos de pruebas funcionales ocultando tras la interfaz todo el procesamiento de ficheros y variables correspondientes.

La segunda variante es utilizar el componente haciendo uso de su capa de servicios para el consumo de los usuarios con el principal objetivo de facilitar la integración con cualquier tipo de aplicación que esta ofrece, ya sea desktop o web.

Se decidió además darle solución a este problema usando una variante de componente que permita tratarlo como una biblioteca, para darle al usuario una forma de solución arquitectónica distinta y poder ajustar la solución a cualquier necesidad.



Line	Nombre	Fecha	Estado	Numero
1	6			
2	EntradaFecha			
3	05 / 05 / 2015			
4	true			
5	51			
6	07 / 05 / 2015			
7	true			
8	51			
9	04 / 05 / 2015			
10	false			
11	52			
12	08 / 05 / 2015			
13	false			
14	53			
15	05 / 05 / 15			
16	false			
17	54			
18				
19	false			
20	55			

Fig. 4 Fichero generado por GeVaF

3.3. Caracterización del diseño

El diseño es intuitivo, de forma que permite caracterizar a los atributos con la mayor facilidad posible; el producto puede integrarse con cualquier componente de gestión de atributos desarrollado en Java y las descripciones de las variables y sus dominios, suministradas por el diseñador de casos de pruebas, se brindarán a través de ficheros textos con la siguiente estructura: “Cantidad de valores generados para ese atributo”; “Nombre del fichero o atributo”; “Nombre del primer valor generado”; “Estado del valor generado” (valor de verdad en correspondencia con la descripción que detalló el usuario); “Número que representa la clase de equivalencia correspondiente a dicho valor con respecto a la descripción del atributo detallada por el usuario que lo creó”. En la fig. 4 se refleja un ejemplo de un fichero generado por GeVaF:

Los resultados de las combinaciones generadas se almacenan en un fichero XML. En la fig. 5 se muestra un ejemplo de una combinación de los atributos “Usuario” y “Contraseña”:



```

<listaCombinaciones>
  <item>
    <Nombre>Usuario</Nombre>
    <Valor xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:string">8</Valor>
    <Estado>true</Estado>
    <ClaseDeEquivalencia xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:int">13</ClaseDeEquivalencia>
  </item>
  <item>
    <Nombre>Contraseña</Nombre>
    <Valor xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:string">23</Valor>
    <Estado>true</Estado>
    <ClaseDeEquivalencia xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:int">23</ClaseDeEquivalencia>
  </item>
</listaCombinaciones>
<listaCombinaciones>
  <item>
    <Nombre>Usuario</Nombre>
    <Valor xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:string">8</Valor>
    <Estado>false</Estado>
    <ClaseDeEquivalencia xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:int">12</ClaseDeEquivalencia>
  </item>
  <item>
    <Nombre>Contraseña</Nombre>
    <Valor xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:string">8</Valor>
    <Estado>true</Estado>
    <ClaseDeEquivalencia xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xsi:type="xs:int">23</ClaseDeEquivalencia>
  </item>
</listaCombinaciones>

```

Fig. 5 Resultado de una combinación de valores generada con GeVaF

3.4. Resultados y discusión

Para validar el componente de generación de valores de prueba se realizaron ejecuciones del componente con el objetivo de comparar los resultados del componente desarrollado con otras propuestas nacionales.

Se diseñó un experimento en el que se fija el número de iteraciones a partir del 100% de cobertura de los valores iniciales. Para ejecutar el experimento se utilizó como caso de estudio una aplicación real, en la que se diseñaron las pruebas para seis de sus funcionalidades que, como promedio tiene tres atributos por cada una de ellas. Las variables incluidas cubren los tipos de datos: cadena, numérico, enumerado, lógico y fecha.

En la Tabla 1 se muestra la información referente a los casos de estudio, señalando para cada uno la cantidad de variables, la cantidad de escenarios y la cantidad máxima de combinaciones necesaria para cubrir los escenarios correspondientes a cada funcionalidad a probar, así como los resultados obtenidos con la ejecución de la herramienta GeVaF, que utiliza metaheurísticas y la técnica de particiones equivalentes de la disciplina Ingeniería de Software y su comparación con un componente que solo utiliza metaheurísticas. Las ejecuciones para este caso de estudio, ambas propuestas, se realizaron ejecutando el algoritmo de “Búsqueda Aleatoria”.

Como se puede observar en la Tabla 1, al utilizar metaheurísticas y técnicas de Ingeniería de Software se genera al menos una combinación de valores para probar cada uno de los escenarios, por tanto se cubre el 100% de los escenarios con una cantidad de combinaciones similar a las obtenidas en el otro algoritmo. En contraste, las propuestas de optimización que solo utilizan metaheurísticas generan como promedio el 37,7% de los escenarios. Es necesario aclarar que en el experimento se emplearon combinaciones de variables que incluyen datos del tipo fecha, numérico, cadena, lógico y enumerado.

La culminación de este trabajo deja un campo futuro para continuar su desarrollo, por tanto se recomienda para dichos trabajos la consideración de: otros tipos de datos, como pueden ser los conjuntos; tener en cuenta la referencia cruzada entre los atributos o variables de una misma funcionalidad del proyecto; y además contar con otros algoritmos heurísticos como los poblacionales.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se definieron las clases de equivalencia que permiten cubrir las pruebas para diferentes tipos de atributos, a partir de la identificación de los tipos de atributos más empleados en los entornos de desarrollo, y las técnicas de diseño de pruebas funcionales que permiten lograr una mayor detección de errores según la bibliografía consultada.

Se construyó un componente orientado a servicios que integra algoritmos de generación de valores iniciales y utiliza metaheurísticas para generar las combinaciones de valores.

Se diseñaron casos de estudio para mostrar los diferentes usos del componente, lo que facilita su aplicación a diferentes contextos de diseño de los casos de pruebas.

Se muestran los resultados de un experimento que demuestra las ventajas que puede ofrecer el componente desarrollado en cuanto a la maximización de escenarios cubiertos con las combinaciones de valores de prueba generados.

Tabla 1.
 Resultados de Ejecuciones

Cantidad de variables	Escenarios cubiertos	Combinaciones máximas	Metaheurísticas y técnicas de Ing. de Software	Metaheurísticas
2	9	81	9	5 (55%)
3	27	27	27	7 (25,9%)
2	12	27	12	6 (50%)
4	108	504	108	16 (14,8%)
2	9	28	9	5 (55%)
3	27	112	27	7 (25,9%)

REFERENCIAS

- [1] B. S. Ahmed, and K. Z. Zamli, "Comparison of metaheuristic test generation strategies based on interaction elements coverage criterion," en *2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA), Langkawi*, pp. 550-554, 2011. Available: DOI: 10.1109/ISIEA.2011.6108773.
- [2] S. Anand, E. K. Burke, J. C. Tsong Yueh Chenc, M. B. Cohen, W. Grieskamp, M. Harman, M. J. Harrold, and P. McMinn, "An orchestrated survey of methodologies for automated software test case generation," *The Journal of Systems and Software*, vol. 86, no. 8, pp. 1978-2001, 2013. ISSN: 0164-1212. Available: doi: 10.1016/j.jss.2013.02.061.
- [3] F. Bouquet, C. Grandpierre, B. Legeard, and F. Peureux, "A test generation solution to automate software testing," en *Proceedings of the 3rd international workshop on Automation of software test Leipzig, Germany, ACM*, pp. 45-48, 2008. Available: doi: 10.1145/1370042.1370052.
- [4] J. C. Bregieiro, "Search-based test case generation for object-oriented java software using strongly-typed genetic programming," en *Proceedings of the 10th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation Atlanta, Georgia, ACM*, pp. 1819-1822, 2008. Available: doi: 10.1145/1388969.1388979.

- [5] E. Díaz, J. Tuya, R. Blanco, and J. J. Dolado, "A tabu search algorithm for structural software testing," *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 10, pp. 3052-3072, 2008. ISSN: 0305-0548. Available: doi: 10.1016/j.cor.2007.01.009.
- [6] R. Ferguson, and B. Korel, "The chaining approach for software test data generation," *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, vol. 5, no. 1, pp. 63-86, 1996. ISSN: 1049-331X. Available: doi: 10.1145/226155.226158.
- [7] M. Harman, "Automated test data generation using search based software engineering," en *Second International Workshop on Automation of Software Test, Minneapolis, Minnesota*, p. 2, 2007. Available: doi: 10.1109/AST.2007.4.
- [8] M. Harman, S. A. Mansouri, and Y. Zhang, "Search-based software engineering: Trends, techniques and applications," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 45, no. 1, p. 11, 2012. ISSN: 0360-0300. Available: doi: 10.1145/2379776.2379787.
- [9] M. Z. Iqbal, A. Arcuri, and L. Briand, "Empirical investigation of search algorithms for environment model-based testing of real-time embedded software," en *Proceedings of the 2012 International Symposium on Software Testing and Analysis Minneapolis, Minnesota, ACM*, pp. 199-209, 2012. Available: doi: 10.1145/2338965.2336777.
- [10] L. C. Lanzarini, and P. E. Battaiotto, "Dynamic generation of test cases with metaheuristics," *Journal of Computer Science & Technology*, vol. 10, no. 2, p. 91, 2010. ISSN: 1860-4749. [Online] Disponible: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/21338/Documento_completo.pdf?sequence=1. Consultado: 02-10-2015.
- [11] A. M. Memon, M. E. Pollack, and M. L. Soffa, "Hierarchical GUI test case generation using automated planning," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 144-155, 2001. ISSN: 0098-5589. Disponible: doi: 10.1109/32.908959.
- [12] C. C. Michael, and G. McGraw, "Generating software test data by evolution," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 27, no. 12, pp. 1085-1110, 2001. ISSN: 0098-5589. Available: doi: 10.1109/32.988709.
- [13] G. J. Myers, T. Badgett, and C. Sandler, *The art of software testing*, 3a. ed., New Jersey, USA: JohnWiley & Sons, 2011. ISBN: 978-1-118-03196-4. [Online] Disponible: <http://www.computing.dcu.ie/~ray/teaching/CA358/TheArtOfSoftwareTesting.pdf>. Consultado: 07-10-2015.
- [14] R. P. Pargas, M. J. Harrold, and R. R. Peck, "Test-data generation using genetic algorithms," *Journal of Software Testing, Verification and Reliability*, vol. 9, no. 4, pp. 261-313, 1999. ISSN: 1099-1689. [Online] Disponible: http://www.cc.gatech.edu/~harrold/6340/cs6340_fall2009/Readings/pgs.pdf.
- [15] B. Pérez, and M. Polo, "Generación automática de casos de prueba para Líneas de Producto de Software," *REICIS. Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, vol. 5, no. 2, pp. 17-27, 2009. ISSN: 1885-448. [Online] Disponible en: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=92217153004>.
- [16] R. S. Pressman, *Ingeniería del Software: Un enfoque práctico*, 7a. ed., México D.F.: McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-607-15-0314-5. [Online] Disponible en: <http://es.slideshare.net/jes4791/ingenieria-del-software-un-enfoque-practico>. Consultado: 09-10-2015.
- [17] A. Sakti, Y.-G. Guéhéneuc, and G. Pesant, "Boosting search based testing by using constraint based testing," *Search Based Software Engineering*, Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 213-227, 2012. ISBN: 978-3-642-33118-3. Available: doi: 10.1007/978-3-642-33119-0_16.
- [18] S. Varshney, and M. Mehrotra, "Search based software test data generation for structural testing: a perspective," *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, vol. 38, no. 4, pp. 1-6, 2013. ISSN: 0163-5948. Disponible: doi: 10.1145/2492248.2492277.
- [19] J. Wegener, A. Baresel, and H. Sthamer, "Evolutionary test environment for automatic structural testing," *Information and Software Technology*, vol. 43, no. 14, pp. 841-854, 2001. ISSN: 0950-5849. Available: doi: 10.1016/S0950-5849(01)00190-2.

Diseño de Vivienda Ecosostenible en el Alto Magdalena de Colombia: Proyecto Innovador para el Desarrollo Sustentable

Sustainable Housing Design in Colombian Upper Magdalena Region: Innovative Project for Sustainable Development.

Ancizar Barragán-Alturo, MSc.

*Universidad Piloto de Colombia
Girardot, Colombia
aba19623@gmail.com*

(Recibido el 10-11-2015. Aprobado el 10-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

A. Barragán-Alturo, "Diseño de Vivienda Ecosostenible en el Alto Magdalena de Colombia: Proyecto Innovador Para el Desarrollo Sustentable", *Lámpsakos*, no. 15, pp 59 - 68, 2016.

Resumen: El propósito de este proyecto de investigación de ingeniería, es el diseño y puesta en marcha de una vivienda ecosostenible: vivienda dotada de un conjunto de sistemas ecológicos, que además de contribuir al cuidado y preservación del medio ambiente mediante la mitigación de los daños causados al mismo por el hombre, impacta positivamente la economía de los ocupantes al disminuir los costos de servicios públicos. Dicha ecovivienda integra tres sistemas: tratamiento de aguas grises (con innovaciones para la reutilización real del líquido y el uso de las aguas lluvias), paneles solares y techos verdes, todos ellos diseñados para trabajar en armonía

con la energía fotovoltaica y con el ambiente. Igualmente, el documento permite al lector observar las dimensiones estructurales, hidráulicas y eléctricas de una manera didáctica, acorde con el ideal arquitectónico del sitio geográfico seleccionado: El Espinal Colombia, una ciudad de temperatura promedio 34°C- 93.2°F (ubicada a 4° 09' latitud Norte y longitud 74° 53' al oeste de Greenwich).

Palabras clave: Vivienda ecosostenible, radiación, sistemas hidráulicos, Sistemas de Reutilización, Techos verdes.

Abstract: The purpose of this engineering research project is the design and implementation of an environmentally sustainable housing: housing provided with a set of ecological systems which not only contribute to the care and preservation of the environment by mitigating the damage caused to it by man, but also positively impact the economy of the occupants reducing the costs of public services. This eco-housing integrates three systems: solar panels, green roofs and gray water treatment (with innovations for actual reuse of liquid and use of rainwater), which were designed to work in harmony

with photovoltaic energy and the environment. Besides, the document allows the reader to observe the structural, hydraulics and electrical dimensions in a didactic way, in keeping with the architectural ideal of the selected geographic location: El Espinal Colombia, a city of 34°C average temperature 93.2°F (located 4° 09' latitude north and longitude 74° 53' west of Greenwich).

Keywords: Sustainable Housing, Radiation, Hydraulic Systems, Reuse, Green Roofs.

1. INTRODUCCIÓN

Es imperioso reconocer que en los últimos años la naturaleza ha sufrido cambios y daños en porcentajes considerables, causados por las manos del hombre, quien para satisfacer sus necesidades y comodidades adapta el ambiente a su conveniencia, tomando del medio más de lo que le corresponde, priorizando lo particular sobre lo colectivo, al alterar el equilibrio general por su afán de acumular y obtener utilidades mezquinas. “El enfoque desarrollista promovió la idea de que los recursos naturales son infinitos, lo cual llevó a unos niveles de explotación sin precedentes” [1, p. 37]. En algunos casos los daños no son grandes y pueden ser revertidos, pero en otros la destrucción causada a la naturaleza se puede medir en cifras exponenciales, por ejemplo la contaminación con cianuro y mercurio a ríos de 17 departamentos de Colombia, todo por causa de la mega-minería y la bien llamada “fiebre del oro” auspiciadas con gran empeño por el poder político: “la locomotora minera” del gobierno del Presidente Santos (2012-2018). La minería ha sido percibida como un actor dañino, que solo genera noticia por sus impactos negativos y los problemas que gravitan a su alrededor: ilegalidad, violencia, deterioro del medio ambiente, accidentalidad. [2], [3].

Además se puede señalar que, como humanidad de este siglo, cualquiera que sea la latitud, generamos factores contaminantes tales como la emisión de dióxido de carbono (CO₂). La industria de la construcción, de hecho, es responsable de un 36% del consumo energético mundial y del 30% de las emisiones del mismo. Es por ello que este proyecto, vinculado a la actividad constructora, lleva a reformular maneras más limpias de edificar frente al panorama mundial actual. Así es como la eficiencia en los recursos energéticos y ambientales en las construcciones serán los aspectos de diseño y construcción primordiales, que deberán enfrentar los ingenieros y arquitectos en los próximos años [4]. Lo anterior para no contribuir al deterioro del ambiente, pues suficiente tiene con las descargas por el uso de combustibles fósiles, las emisiones de freones al aire, los vertimientos de desechos industriales a los ríos y quebradas y la creciente deforestación por la explotación excesiva del bosque. Esta suma de impactos ambientales negativos, que limitan en lo irreparable, ha hecho del escenario donde se desarrolla la vida, un basurero universal, que preocupa a instituciones educativas como la Universidad Piloto de Colombia. Posicionada en el Alto Magdalena, ha insertado en

las actividades de aula, desde el Programa de Ingeniería Civil, proyectos donde involucra a los estudiantes en la observancia de la contaminación que generan las familias de la región con muchos de sus usos habitacionales: equipos de aire acondicionado, ciertos materiales de construcción, como la teja de Eternit (Fabricada con asbesto-cemento, material cancerígeno en pulmones), energía en consumos excesivos, manejo inadecuado del agua, entre otras tendencias perjudiciales.

Todo ello completa un cuadro de alteridad del sistema biótico, que trae como consecuencia el aumento de la entropía y la pérdida definitiva del ecosistema, en un acto similar al no retorno, orquestado por la carrera desesperada de la producción lineal, arrasando hasta con el último árbol plantado, conectando la escena dantesca donde se activa la clave de la puerta del infierno, el espacio-tiempo de la desesperanza, de la atmósfera apocalíptica marciana: senda a la que nos conducen las políticas de los gobiernos neoliberales de esta patria Colombia, donde el signo ya no es la abundancia sino la pobreza del escenario de las futuras generaciones.

Bien se podría comparar en contexto la escena anterior, con Asunción – Paraguay, donde es posible freír huevos en el asfalto; tan grande es el efecto del calentamiento global, recrudescido por la catástrofe de la tala de los bosques en un 80%. Hoy este país constituye un contraejemplo ecológico a nivel universal. [5]

2. TRES SISTEMAS INTEGRADOS: UNA VIVIENDA ECOSOSTENIBLE

El proyecto que se presenta en este artículo quiere iniciar un proceso de cambio en la conceptualización y construcción de áreas residenciales de interés social, mediante la ejecución de un proyecto piloto, para conseguir que sean ambientalmente sostenibles y mejorar la calidad de vida de sus propietarios [6].

En este clima de incertidumbres, el diseño de prototipo a escala de una vivienda eco-sostenible en el sector urbano del Espinal – Colombia, representa una importante alternativa de mitigación de buen porcentaje de los daños causados por el hombre al entorno. Se describe a continuación, sin perder de vista: a) su marco teleológico: la preservación del ambiente, la circunscripción de lo sostenible median-

te la gestión del ciclo de vida de los materiales en el proceso constructivo, el uso eficiente de la energía y la reutilización del agua. En suma, la creación de una cultura con hábitos más respetuosos con el medio ambiente [7]. Y b), su intencionalidad de favorecer la economía del hogar (en oposición al pago excesivo de los servicios públicos).

El artículo hace explícitos los lineamientos necesarios para la instalación de cada uno de los sistemas mencionados mediante figuras, esquemas, diagramas descriptivos y cálculos que demuestran al lector las tasas de retorno de la inversión económica y los beneficios en asuntos del bioclima, tanto en el exterior como en el interior de la ecovivienda.

También referencia la utilización de sistemas de vivienda ecológica, adoptados en diferentes lugares del mundo, que ha generado una gran cantidad de cambios favorables para la naturaleza. Antecedente muy próximo al contexto de esta investigación que es la construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar, propuesto como trabajo de grado por estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira. Al respecto Espinal, Ocampo y Rojas en [8], afirman: “El sistema comienza con una etapa de pre-recolección ubicada al inicio en forma de L, en el interior del tanque de pre-recolección se encuentra un filtro de carbón activado que impide el ingreso de grandes partículas al sistema para evitar obstrucciones, a la salida de este tanque se encuentra una bomba, esta es la encargada de llevar las aguas grises pre-recolectadas al sistema de almacenamiento de estas aguas, el ingreso a este tanque se da mediante una electro-válvula, al interior del tanque están los sensores de nivel ubicados en puntos inferiores, medios y superiores que permitirán saber el nivel de agua que en ese momento tendrá el tanque”

Tras el análisis de este prototipo, se planeó una solución de ingeniería, menos elaborada pero igual de eficiente, que constituye el proyecto objeto de este artículo. El prototipo de vivienda propuesta fue diseñado para ser habitada por una familia, siempre que existan condiciones mínimas de habitabilidad y el confort [9].

En lo respectivo al sistema de reutilización de aguas grises y su uso, junto con las aguas lluvias, es importante tener en cuenta que las primeras corresponden a las aguas residuales producidas por lavamanos, duchas y lavanderías. Para reintegrar estas aguas

al sistema, es necesario implementar un circuito de conducción, almacenamiento y tratamiento de las mismas. Dicha implementación requiere un proceso de purificación en continuas etapas de filtros para obtener agua limpia y aséptica de acuerdo con lo que se requiera. Se incluye un método que ayuda a potenciar el ahorro del agua y disminuir la contaminación de los ríos, gracias al proceso de captación y tratamiento de aguas lluvias y aguas grises reutilizables en la cisterna del sanitario, el riego de jardines, lavado de vehículos y otras actividades domésticas [10].

Pasando al segundo sistema, en la vivienda ecosostenible el suministro energético proviene de la radiación solar. Sistema que requiere una considerable inversión inicial. De allí que, por lo menos por tres décadas, el usuario no pagará este rubro o erogación a nadie, contribuyendo al ahorro en la canasta familiar. En el contexto mundial paralelo a este proceso se presenta que: “Impulsados por una caída en los precios de los paneles, fuertes subsidios públicos y una tecnología que ya no resulta experimental para el público masivo estadounidense, los techos solares fotovoltaicos están estallando en todas partes. Solamente en los dos últimos años, 200.000 hogares y empresas estadounidenses incorporaron energía solar (aprox. 3GWh) de energía lo suficiente como para reemplazar cuatro o cinco centrales eléctricas de carbón de tamaño convencional” [11, p. 4].

Como cimienta de lo anterior tenemos que el sol es la materia prima de energía limpia más abundante en las latitudes donde se desarrolla el proyecto, lo que satisfactoriamente confiere a esta propuesta gran potencial ambiental en contrapeso con los efectos de deforestación a ultranza que dejaron los diseños y puestas en marcha de las grandes presas de generación eléctrica construidas en el pasado; teniendo en cuenta que se debe reducir “la huella ecológica que generan las construcciones en los ecosistemas naturales también es un aspecto crítico que deben tener en cuenta los organismos de planeación y gestión urbanística de las grandes urbes” [12].

Avanzando hacia el tercer sistema, se integró el proceso de instalación de techos verdes, los cuales corroboran la conservación del medio habitual y el aire, dando una apariencia agradable y funcional, como complemento al sistema de paneles solares. Las ventajas del sistema diseñado son evidentes, pues por un lado se aprovechó el espacio de las cubiertas y por el otro se disminuyó la temperatura

del área construida y de su exterior. Según Hans J. Seeger [13], actual Presidente de la Asociación de Jardineros de Cubiertas y Tejados de Alemania, la temperatura exterior puede reducirse hasta 8 grados centígrados en áreas con cubiertas verdes conforme a los estudios realizados en Estados Unidos y Alemania [13].

3. METODOLOGÍA

El proceso de elaboración del proyecto partió del análisis del área de aplicación. Posteriormente se efectuaron estudios necesarios para conocer de forma adecuada el funcionamiento de cada uno de los sistemas ecológicos propuestos y su adecuada forma de instalación para que trabajen con la mayor eficacia. A continuación se calculó la inversión necesaria para la construcción de la eco-vivienda y de igual forma, el periodo de retorno del dinero invertido y el ahorro en el tiempo, efectuando una comparación con una vivienda convencional. Por último, con miras a que el proyecto sea apreciado y pueda captar la atención de las personas que deseen hacer de este un ejemplo a seguir, se elaboró una maqueta funcional a escala, para mostrar los componentes y el funcionamiento de los mismos en conferencias de divulgación patrocinadas por la Universidad Piloto de Colombia en la seccional del Alto Magdalena (Girardot, Colombia).

Esta investigación se basa en el método de estudio de caso, a través de un proceso de tipo descriptivo, con la utilización de herramientas de diagnóstico participativo, cualitativo y cuantitativo. Se basa en cortes metodológicos tomados en principios teóricos, empleando métodos de recolección de datos. La investigación es de tipo mixto, apoyada en la toma de muestras mínimas aleatorias, esto es, la observación de grupos de población reducidos, como los propietarios de las viviendas aledaños a las coordenadas donde se realizará el proyecto.

El estudio de este caso tiene como objetivos: conocer aspectos en torno a la vivienda eco-sostenible, que involucra la energía solar como energía alternativa y renovable, los *green-roof*, la reutilización de aguas grises y el tratamiento de aguas residuales, y así mismo, interpretar su relación con la realidad social de manera cualitativa y cuantitativa. Se trataron datos operacionales que orientaron la demarcación y cuantificación de la experiencia. Para su recolección, inicialmente se llevó a cabo un estado del arte,

que permitiera conocer a fondo el funcionamiento y los componentes de cada uno de los sistemas que se aplicaran dentro del proyecto; de igual forma se realizó un curso de energía solar el cual seguía el mismo objetivo: por un lado conocer las coordenadas de ubicación del proyecto, y por otro la radiancia en la zona, aspectos vitales a la hora de diseñar un sistema de energía solar.

Abordando el aspecto del consumo, se usaron recibos del servicio de electricidad y de agua de diferentes estratos sociales, claro está, todos pertenecientes al municipio en el cual se pretende aplicar el presente proyecto.

Enfocados ya en el trabajo de campo, se hicieron visitas a CORPOICA, Sede Nataima, vía Espinal – Chiroral, en el Departamento del Tolima, para obtener datos sustanciales a la hora del diseño de sistema. De igual forma se realizaron entrevistas con profesionales que laboran en cada uno de los campos a los que aplican los temas con el fin de obtener una adecuada asesoría. Por último se dirigieron encuestas a personas de la zona con el fin de obtener una proyección sobre cómo los beneficiaría la aplicación de este tipo de proyectos en sus viviendas.

3.1. Productos

Teniendo ya los conocimientos adquiridos durante el proceso investigativo, se procede a construir el prototipo paso a paso, siguiendo los lineamientos necesarios para la creación de cada uno de los sistemas ecológicos y garantizando un óptimo funcionamiento de los mismos.

En los techos verdes, para elaborar la propuesta paisajística de una cubierta vegetal, se debe realizar una visita de campo al lugar donde se quiera incorporar el sistema para determinar el área, el uso (contemplativo, transitable o mixto), tipos de cubierta verde, la carga que le representará a la estructura y si esta puede soportarla. Un aspecto indispensable de las cubiertas vegetales y los muros ajardinados es promover el uso eficiente y responsable del agua en el riego y buscar su reutilización. En el caso de las cubiertas, de acuerdo con el diseño desarrollado, el sistema de riego y la tecnología por emplear se definen dependiendo del paisajismo de la cubierta, el tipo de planta que se siembre y la necesidad hídrica requerida. Por ejemplo, para plantas de porte medio como flores, pequeños arbustos de 30 cm de altura –que deben tener su propio punto de abastecimiento-

Tabla 1.

Cubierta con losa y correas metálicas (Fuente: Autor)

Cubierta	Capacidad
Techos verdes	180 kg/m ²
Espesor de placa (0,05 m)	0,05x2200=110 kg/m ²
Estructura metálica	10 kg/m ²
Cielo raso drywall	20 kg/m ²
Carga muerta	320 kg/m ²
Carga viva	50 kg/m ²
Carga total	370 kg/m ²

Tabla 2.

Cubierta con losa maciza (Fuente: Autor)

Cubierta	Capacidad
Techos verdes	180 kg/m ²
Losa maciza	360 kg/m ²
Carga muerta	540 kg/m ²
Carga viva	50 kg/m ²
Carga total	590 kg/m ²

to-, el sistema de riego por goteo es el ideal. Aquí se pasan líneas de manguera de goteo en PVC entre las filas de plantas. En el caso de gramas y pastos se diseña un sistema hidráulico con aspersores a 3, 5 o 7 metros, acorde con el área que se quiere regar. [14, pp. 1-2]. Para emplear el sistema de techos verdes se debe rediseñar la cubierta. Se plantearon tres opciones de estructura para elegir la mas conveniente y viable de acuerdo con el peso soportado. Los calculos (Tablas 1, 2 y 3) son:

Teniendo en cuenta lo anterior se decidió que la estructura a construir, de acuerdo con el peso necesario, es la placa fácil, compuesta por perfil metálico y bloquelón. A continuación se dan a conocer los pasos de diseño de este sistema ecológico.

3.2. Suministro energético con paneles solares

En este tipo de diseño, el suministro de energía eléctrica para la solución de vivienda debe tener en cuenta:

Tabla 3.

Cubierta en placa fácil con bloquelón (Fuente: Autor)

Cubierta	Capacidad
Techos verdes	180 kg/m ²
Losa superior	110 kg/m ²
Bloquelón	55 kg/m ²
Perfil metálico	6 kg/m ²
Relleno del perfil en concreto	10 kg/m ²
Carga muerta	361 kg/m²
Carga viva	50 kg/m²
Carga total	411 kg/m²

Tabla 4.

Calibre de cable a usar en paneles

Número paneles	Calibre cables
1	16
2	14
3	14
4	14
5	12
6	12
7	10
8	8
9	8
10	6

3.2.1. Cálculo de la radiación solar de la zona

Primero que todo, es fundamental conocer la zona donde se instalarán los paneles solares para así determinar la radiación solar que estos recibirán y con la que trabajarán. Con este fin se parte del conocimiento de las coordenadas en donde se ubica el sitio en el que se instalarán los paneles, que como bien se sabe, para este proyecto, se hallan en el municipio del Espinal-Tolima. Teniendo ya las coordenadas, se accede a la página de la NASA y se consulta la radiación de la zona mediante el ingreso de los datos específicos. Una vez se hayan registrado la longitud y la latitud, se obtiene una serie de datos entre los cuales se encuentra la radiación solar promedio por mes y por último un promedio anual, el cual será utilizado para el cálculo de los elementos; en este caso, la Radiación Solar para la región se estima en 4,82 Kwh/m²/d

3.2.2. Elementos de suministro energético

Inversor. Continuando con el proceso, se ha de establecer la cantidad de elementos que se conectarán al sistema y la cantidad de watts que consumirán. Teniendo esta información precisa, se entiende que el inversor adecuado tendrá necesariamente una capacidad mayor a este valor.

Banco de Baterías. El siguiente paso consiste en determinar la relación de consumo total de *watts*/hora en el sistema con el fin de establecer el número de baterías que se instalarán. Para ello, dividimos el consumo total sobre los *watts* que posee cada batería. El número de baterías debe ser entero, por tanto, en caso de arrojar un número compuesto, se debe aproximar, luego se multiplica por 1,5, con el fin de poseer medio día más de carga en caso de que condiciones externas afecten el funcionamiento del sistema.

Páneles Solares. El siguiente paso es calcular el número de paneles necesarios para el sistema construido, para lo cual se aplica la siguiente formula:

$$n = \frac{\text{consumo total}}{\frac{\text{watts por panel}}{\text{radiación de la zona}}} \quad (1)$$

Dimensionamiento del Cableado. Finalmente, se calcula el cableado que será utilizado en la instalación del sistema, por tanto se verifica la siguiente Tabla 4 [5].

3.2.3. Tratamiento de aguas grises

El método que se va a utilizar para el tratamiento de la recolección de aguas grises es muy sencillo: básicamente se compone de una trampa de grasas, una alberca que hace la función de filtro, ya que contiene grava, sustrato y plantas semiacuáticas, y por último un tanque de almacenamiento. La trampa de grasas (fig. 1) es una estructura donde se separan los aceites y los sólidos, las grasas, al ser menos densas, flotan, en tanto los sólidos, por ser más densos, se sedimentan. La razón poderosa por la cual se efectúa este proceso, no es otra que la de aprovechar los nutrientes de las aguas jabonosas para emplearlos en el crecimiento las plantas, teniendo muy en cuenta que de no hacerlo, se contaminaría el ambiente con su fétido olor. En familias de clase media y alta

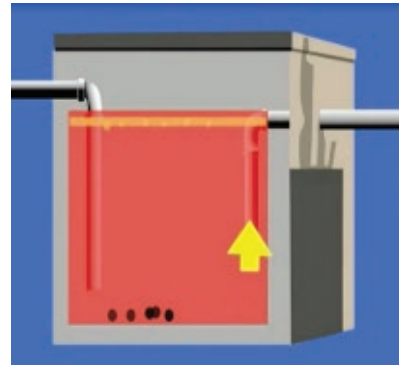


Fig. 1 Trampa de grasas (Fuente: Autor)

es riego para los jardines. En familias de clase baja las aguas tratadas contribuyen con el riego de cultivos y aportan a la seguridad alimentaria [15].

Jardinera o filtro horizontal. Una estructura rectangular en la cual se rellena con tezontle, material ligero de superficie porosa donde se fijan las bacterias que se nutren de las impurezas de las aguas grises y de jabones y detergentes (fig. 2). Sobre el tezontle se siembran plantas semiacuáticas como papiros, alcatraces, plantas de hojas grandes, que por medio de las raíces inyectan oxígeno, optimizando la filtración. Esta estrategia del sistema, coadyuva con la calidad de las aguas al final del proceso de descontaminación y contribuye con la mejora sustancial del líquido para la reutilización en los diversos usos, dándole un valor agregado al tratamiento en aras de innovar respecto a la huella hídrica gris de los habitantes de la zona del Alto Magdalena–Colombia.

Tanques de almacenamiento. Son estructuras de diversos materiales que sirven para guardar o preservar líquidos y gases. Con este procedimiento se garantiza un tratamiento eficaz de las aguas grises, que posteriormente se reutilizarán en los inodoros de la vivienda, en el riego de los jardines y en el techo verde. Estos depósitos surtidores de agua para la reutilización en la vivienda, al permitir disminuir el gasto de agua por persona, hacen parte del sistema de tratamiento de aguas grises. Están conectados a una bomba hidráulica, que posteriormente se encarga de llevar el agua hasta los techos verdes para mantenerlos irrigados por medio de sistemas de drenaje por goteo.

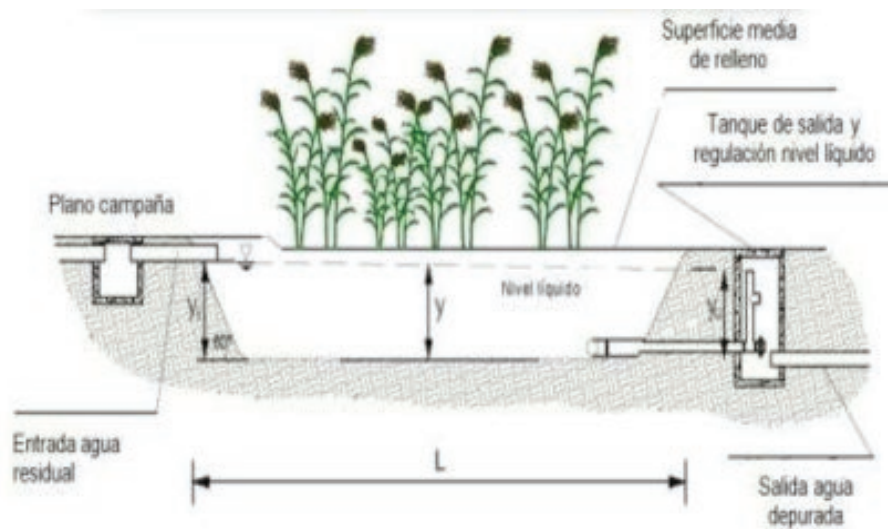


Fig. 2 Esquema jardinera o filtro (Fuente: Autor)



Fig. 3 Diseño y prototipo a escala de una vivienda ecosostenible, para el sector urbano de El Espinal – Colombia, con Vista Superior (Fuente: Autor).

La ilustración del presupuesto de instalación del sistema integrado en la vivienda permite conocer los diseños de cada uno de los sistemas, lo que permite analizar el cargo que desempeñarán allí y la contribución que harán al ambiente.

La casa cuenta con las siguientes características: los acabados de los muros en revoque y de los pisos en baldosa; dos niveles, cubierta elaborada en placa-

fácil (bloquelón); instalación de un sistema de techos verdes en la cubierta, instalación de un sistema de paneles solares; 2 tanques de almacenamiento, uno encargado de guardar una reserva del acueducto; otro (instalado en el jardín), para el agua procesada del sistema de tratamiento de aguas grises (fig. 3 y 4).

Tabla 5.

Elementos para el periodo de retorno (Fuente: Autor)

Estrato 4		
Año	Mes	Pago Mensual
2014	ENERO	\$205.566,00
2014	FEBRERO	\$316.575,00
2014	MARZO	\$262.275,00
2014	ABRIL	\$256.557,00
2014	MAYO	\$311.000,00
2014	JUNIO	\$241.300,00
2014	JULIO	\$312.557,00
2014	AGOSTO	\$389.203,00
2014	SEPTIEMBRE	\$349.200,00
2014	OCTUBRE	\$350.300,00
2014	NOVIEMBRE	\$396.200,00
2014	DICIEMBRE	\$188.418,00
Promedio		\$298.262,58
Precio Anual		\$3.579.151,00



Fig. 4 Prototipo de vivienda propuesta (Fuente: Autor)

Teniendo calculado el consumo anual, se procede a calcular el periodo de retorno de la planta 100% solar. Ya que se conoce exactamente el ahorro que tendrá la misma, se calcula el periodo de retorno dividiendo la inversión hecha para la construcción de la planta solar en el precio anual de energía que posee la vivienda común (tablas 5 y 6).

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Mediante el proceso de investigación y el trabajo de campo, se logró diseñar un prototipo, con la aplicación de un sistema integrado de paneles solares como generadores de energía, planta de aguas gri-

Tabla 6.

Cálculo del periodo de retorno (Fuente: Autor)

ESTRATO 4		
AÑO	MES	PAGO MENSUAL
2014	ENERO	\$205.566,00
2014	FEBRERO	\$316.575,00
2014	MARZO	\$262.275,00
2014	ABRIL	\$256.557,00
2014	MAYO	\$311.000,00
2014	JUNIO	\$241.300,00
2014	JULIO	\$312.557,00
2014	AGOSTO	\$389.203,00
2014	SEPTIEMBRE	\$349.200,00
2014	OCTUBRE	\$350.300,00
2014	NOVIEMBRE	\$396.200,00
2014	DICIEMBRE	\$188.418,00
PROMEDIO		\$298.262,58
PRECIO ANUAL		\$3.579.151,00
INVERSIÓN ENERGÍA 100% SOLAR		\$9.714.960,00
PERIODO RETORNO (AÑOS)		3

ses con aprovechamiento de aguas lluvias, techos verdes con riego por goteo procedente de la planta de antes mencionada y circuito hidráulico automatizado. Todo ello consolida una idea viable desde los puntos de vista ecológico y económico, en comparación con los sistemas convencionales.

En este prototipo los techos verdes constituyen una alternativa de piel de la cubierta que coadyuva con el clima al interior de la vivienda, disminuyendo la temperatura en un intervalo de 3 a 6 °C y apocando los costos adicionales en el recibo de la energía asociados al uso de ventiladores o aires acondicionados.

Los techos verdes contribuyen con la vivienda ecosostenible en su estética y simultáneamente con el ambiente, permitiendo la absorción de gas carbónico a través de sus cultivos extensivos e integrando paisajísticamente la vivienda con los espacios verdes de la ciudad, armonizando la naturaleza viva con las edificaciones. Cuando proveen sistemas como los techos verdes se reducen los contaminantes que se vierten a los sistemas públicos y luego a las fuentes de agua [16].

La integración entre el sistema de techos verdes y el sistema de aguas grises, con el aprovechamiento de las aguas lluvias, permitirá darle una dinámica distinta a las escorrentías, que son las causantes de los

desastres por inundaciones, considerados un problema social de grandes proporciones en Colombia y en el mundo.

Analizando la parte económica del proceso se determina que la elaboración del proyecto es económicamente viable ya que mediante una pequeña inversión se obtienen beneficios ecológicos para generaciones del mañana y a su vez se genera un ahorro económico para los habitantes del hogar, lo que, proyectando la mirada hacia el futuro, valoriza significativamente el predio.

REFERENCIAS

- [1] E. A. Salazar, J. F. Arroyave, I. Moreno, Universidad del Valle Cali, Colombia, "Desarrollo de vivienda ecosostenible para sectores vulnerables," *Ingeniería y Competitividad*, vol. 16, no. 1, 2014, pp. 249-259. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291331195021>
- [2] F. Claros-Lamus, Universidad Santo Tomás, Colombia. "Programa piloto de vivienda sostenible," *Investigación en temas de Arquitectura y ciudad*, vol. 3, no. 1, 2006. Disponible: <http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/REVISTAM/issue/view/82/showToc>
- [3] "Normativas cubiertas verdes," *Construdata*, 2013. Bogotá-Colombia. Disponible: http://www.construdata.com/Bc/Otros/Documentos/normativa_cubiertas_verdes.asp
- [4] C. Espinal, et al., "Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar", Universidad Tecnológica de Pereira, 2014. Disponible: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/4349/1/62167E77C.pdf>
- [5] "Empresas de electricidad en Estados Unidos reaccionan contra "aluvión" de energía solar". (2013, Diciembre 28) *emol.Economía*. [Online]. Disponible: <http://www.emol.com/noticias/economia/2013/12/27/636889/empresas-de-electricidad-en-estados-unidos-reaccionan-contraluvion-de-energia-solar.html>
- [6] T. M. Hernández, Universidad Piloto de Colombia-Bogotá Colombia, "La construcción sostenible. Alarife," *Revista de Arquitectura*, no. 17, 2009, p. 9.
- [7] R. A. Ibáñez, G., Universidad Piloto de Colombia, Bogotá-Colombia, "Techos vivos extensivos: una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Alarife," *Revista de Arquitectura*, no. 16, 2008, p. 21.
- [8] C. Jiménez. J., "Lo bueno y lo malo que ha pasado en dos años en la locomotora minera," *periódico El Tiempo* (2012, octubre 25). Bogotá-Colombia. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12250093>.
- [9] J. L. Peraza V., et al., Universidad Católica de Colombia, "Estudio de los sistemas sostenibles implementados en la construcción de vivienda unifamiliar en la ciudad de Bogotá," 2014. Disponible: <http://bit.ly/1WLCaCal>
- [10] R. R. Ramírez-Vega, "Estudio, Análisis y Discusión de las Tecnologías Utilizadas en el Diseño y Construcción de Edificios Sustentables en Chile," 2010. Disponible en: <http://bit.ly/1RJsWsQ> y en <http://bit.ly/1K7g1hD>
- [11] J. Rizzo, "Asunción, la más calurosa: hasta se puede cocinar en el asfalto.2014. 20medios comunicación participativa". Disponible: <https://20medios.wordpress.com/2014/02/26/asuncion-la-mas-calurosa-hasta-se-puede-cocinar-en-el-asfalto/>
- [12] N. Rodda, et. al., "Development of guidance for sustainable irrigation use of greywater in gardens and small-scale agriculture in South Africa," *American Journals*, vol. 37, no. 5, 2011. [Online]. Disponible: <http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/72841>
- [13] Funders Worgroup, "Tides foundation for sustainable production and consumption and free range studios: Story of stuff project," 2009. [Video en Línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=ykfp1WvVqAY>
- [14] F. Villa, "Construcciones verdes," *Alarife: Revista de arquitectura*, ISSN 1657-6101, no. 17, 2009, p. 39. Bogotá-Colombia.
- [15] F. Villamizar y G. Niño, "Elementos para el desarrollo urbano sostenible en Colombia: los casos de Sulukule, Turquía, y de las ciudades amazónicas, Colombia," *Alarife: Revista de arquitectura*, ISSN 1657-6101, no. 17, 2009, p. 19.

A Literature Review on the Pallet Loading Problem

Una Revisión Literaria del Problema de Carga del Pallet

Saúl Vargas-Osorio, MSc(C).

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Puebla, México
saul.vagas@upaep.edu.mx

Catya Zúñiga, PhD.

Universidad Aeronáutica
Querétaro, México
catya.zuniga@unaq.edu.mx

(Recibido el 01-11-2015. Aprobado el 10-12-2015)

Estilo de Citación de Artículo:

S. Vargas-Osorio, C. Zúñiga, "A Literature Review on the Pallet Loading Problem", Lámpsakos, no. 15, pp 69 - 80, 2016

Abstract. Nowadays, businesses face a fierce competition. Hence, implementing strategies to achieve competitiveness is elemental. For that purpose, in the logistics field, the proper use of resources is a must. According to several experts, storing and transportation have a high impact in the overall supply chain profit. Therefore, lowering their impact by increasing efficiency contribute to a higher profitability. An efficient palletizing can cause to easily ship more goods onto a pallet with the consequent savings in transportation and storage. The denominated *Pallet Loading Problem* (PLP) focuses on finding space optimization to load the maximum quantity of packed product onto the pallet.

This article presents a literature review of the most prominent approaches with the objective of showing the main characteristics and solution methods proposed by researchers. Thus, the understanding of these solution approaches can help in the development of new strategies or approaches to deal with the palletizing.

Keywords: Logistics, Transportation, Pallet, Literature Review, Pallet Loading Problem.

Resumen: Actualmente, las empresas enfrentan una competencia agresiva, por lo que implementar estrategias para alcanzar la competitividad es elemental. En este sentido, en Logística, el uso adecuado de los recursos es imprescindible. El impacto en la ganancia que tienen el almacenaje y el transporte, conlleva la implementación de acciones para contrarrestarlo. Un paletizado efectivo puede contribuir a reducir costos.

El Problema de Carga del Pallet (PLP) procura la optimización del espacio del pallet para lograr cargar la mayor cantidad de producto debidamente empacado. El uso práctico y beneficios del PLP han dado pie a su estudio en la búsqueda de solución.

Este artículo presenta una revisión literaria de los principales estudios para mostrar las características principales y los métodos de solución propuestos, generando una base de entendimiento que permita dar sustento a la elaboración de nuevos modelos y estrategias en la solución del PLP.

Palabras clave: Logística; Transporte; Pallet; Revisión Literaria, Pallet Loading Problem.

1. INTRODUCTION

There is no doubt that in Logistics, transportation and storage are key elements since they imply costs at the time that they also allow to supply the demands of the customers. For instance and in comparison with other process of the supply chain, the palletizing loading efficiency of any type of transport causes direct saving of the total logistics costs. These saving rank between 20-25% of the storage cost and up to 30 of the transportation costs [4], [7], [21] and [22].

Therefore, achieving a high loading efficiency regarding the space utilization on a pallet means to ship more products with a possible lower transportation cost per unit, making it more profitable for the company. Obviously, if the space is efficiently utilized, it is feasible to supply a bigger quantity of products with a lower cost and an increased satisfaction of both parties involved (customers and the company). Considering that the main goal of logistics consist on getting the right goods at the right time under the best conditions at the lowest cost, an increment on the utilization of the available space with as many products as possible in the means of transportation and the utilization of less storing space are a must.

In the last decades, researchers have studied and revised the packing problems such as the Knapsack problem, the Bin Packing Problem, the Container Loading Problem, and the Pallet Loading Problem. Perhaps and due to their nature, the most prominent in the Logistics field are the Container Loading Problem and the Pallet Loading Problem even when all of them have the possibility to be applied in very similar situations to obtain benefits in one or other way.

It has been proposed a wide range of solutions using different techniques and methodologies. The most common approaches employ heuristics such as the wall building approach presented in the 80's. This approach is a heuristic to load the pallet building columns of boxes i.e., stacking vertically a set of boxes no higher than a maximum height. However, this type of approaches can lead to non-efficient final solutions. Other studies employ optimization technique such as integer programming, taboo search, simulated annealing and simulation, among many.

Each of the review studies present advantages and disadvantages both in the modeling and resolution approach which are essential to understand if an innovative approach wants to be proposed. Therefore, this work presents a literature review on the Pallet Loading Problem, focusing on the most prominent approaches and characteristic modeled within it. Stability, maximum height allowed and weight constraints are some of the characteristics highlighted in the literature review done in this work.

The organization of this work is as follows: Section 2 provides an overview of the packing problems, focusing on the pallet loading problem and its characteristics. Section 3 presents the literature review on the pallet loading problem analyzing each work characteristics and comparing them. Finally conclusions and future work is presented.

2. BACKGROUND

Researchers have studied and revised packing problems such as the Knapsack problem, the Bin Packing Problem, the Container Loading Problem, and the Pallet Loading Problem. Perhaps and due to their nature, the most important in Logistics are the Bin Packing Problem, the Container Loading Problem and the Pallet Loading Problem even when all of them have the possibility to be applied in very similar situations to obtain benefits in one or other way.

The need of stacking efficiently a set of items within one or several containers represents the appearance of packing problems, which share common features:

- The involvement of two sets of specific elements: a set of large elements and another of smaller elements.
- Both given sets of elements may imply homogenous or heterogeneous dimensions (single or multidimensional) (See figure 1).
- A specific quantity or all the smaller items, grouped into one or more subsets, must be placed inside the larger objects where they must fit entirely without overlapping [36].

It is important to mention that in literature, a packing problem is a synonym of the so called cutting problem because the determination of the optimal way to cut

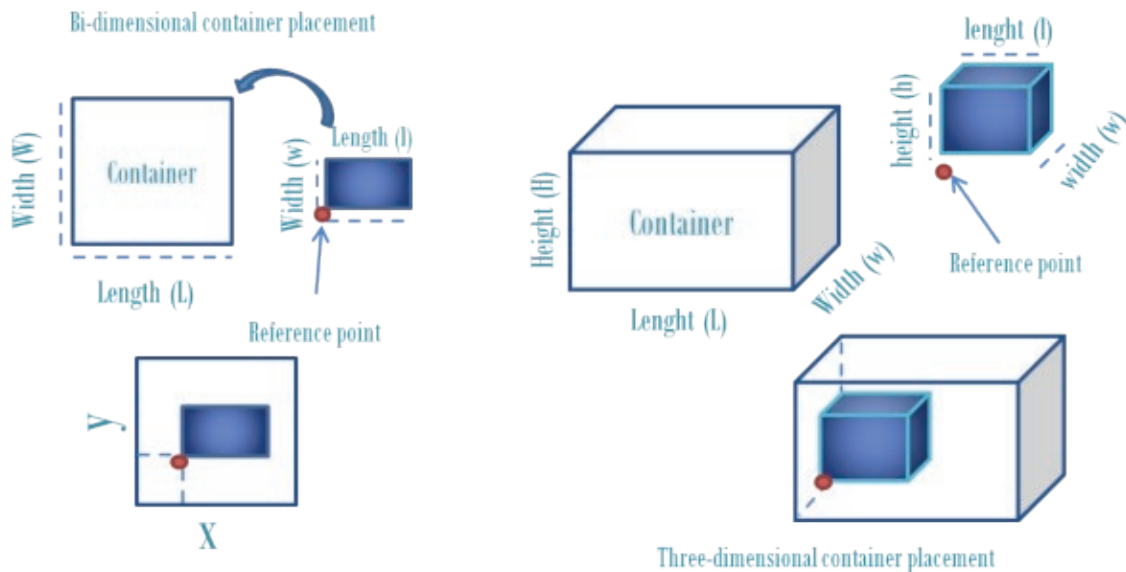


Fig. 1 Bi and three dimensional packing problems

a large object into smaller pieces equals the search to place optimally a set of pieces into a larger one. Therefore, many authors refer to packing, cutting or packing and cutting problems whenever any of the previously mentioned problems are present [36].

The Knapsack Problem (KP) is NP-hard (nondeterministic polynomial time) and comprises an extensive family with various applications in the industry and financial management such as cargo loading, cutting stock and budget control, among others. This problem can be defined as the maximization of the profit sum obtained by the placement of a subset of given items to be chosen, in the knapsack without exceeding its capacity [35].

The Bin Packing Problem (BPP) arises when a set of items must be packed in a certain number of bins of the same size, maximizing the space to be utilized. Thus, the whole quantity of items must be packed in as few bins as possible. This problem can be bi-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) [27].

The BPP has got several uses in the industry, especially in cutting (wood and glass) and packing for transportation and warehousing. As previously stated, most researchers refer to bins of the same sizes, but there are studies, which use bins of different sizes in the resolution of this problem that arises in industries like wood, steel, paper and cloth [30].

If one comes across with the necessity of loading a subset of goods or parcels of different sizes into a three-dimensional rectangular container with specific dimensions with the aim of maximizing the volume of packed boxes, then the Container Loading Problem (CLP) becomes present [41]. It is three-dimensional and as foreseen, its essence consists of finding the optimal layout of a set of sorts of small three-dimensional cubic items (boxes, for instance) to be loaded in a container with specific dimensions [16].

In the CLP, the objective is the optimization of the available space inside a container with as many boxes as possible, meeting all possible constraints. There are three categories for this problem:

- Homogeneous: all boxes to be placed in the container have the same dimensions.
- Weakly heterogeneous: few different box types with many identical boxes of each type.
- Strongly heterogeneous: all boxes have different dimensions.

Constraints in the CLP include box orientation and stability [41].

The Pallet Loading Problem (PLP) arises when small items must be placed onto a large pallet in manufacturing workshops and other logistic areas

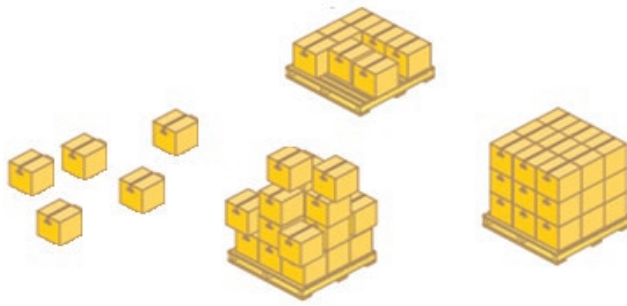


Fig. 2 Most common PLP's representation

(Figure 2) [23]. Evidently, the stacking objects may be of different sizes, nature, weight, value and shapes. Order demand, placement and weight conditions, together with stability, constitute the most important constraints in the PLP [34].

As it can be clearly observed, the different packing problems above described comprise different common elements, which make them similar in spite of the differences. Packing problems seek for the optimal use of resources which, in this case, are basically represented with the capacity utilization of packaging space which is related with the material and transport capacities, being of great economic importance in the process of production and distribution. Thus, there is also a contribution in the use of natural resources economically, in the limitation of already complicated traffic, and, as a whole, in the careful treatment of the environment. Evidently, it all can be translated into monetary savings [28].

Due to its importance in the supply chain, researchers have studied and revised the different packing problems whose applications in Logistics are widely spread and only, its utilization will depend on the focus of the situation (most valuable products in a recipient, efficient use of the space in as few containers as possible, etc.).

Focusing on the Pallet Loading Problem, it is important to remark that an efficient arrangement of cargo onto a pallet is time-consuming, and requires stability and space considerations with regards to the utilization of the pallet. The more efficiently the pallets are utilized, the less quantity of them are demanded to stack cargo. Beyond that, the impact of this activity on transportation and warehousing is evident as both

costs are directly related to the use of space as well as the type of pallets and the quantity of them in the conformation of a shipment [4].

Thus, an efficient palletizing may cause a reduction of the space utilization within any transportation modes with a consequent saving on the cost associated to it. Nonetheless, even when efficient palletizing can imply less used space in the means of transportation, it also causes additional costs along the supply chain granted the pallet is also new element which, does not exist in bulk shipments. For instance and in comparison with bulk shipments, loading efficiency of a sea container with palletized cargo is lower by 5% and causes higher total logistics costs in a rank between 25% and 33%. In contrast, there are remarkable savings (up to 37%) made at destination where this sort of cargo can be mechanically manipulated with the use of forklifts and other devices. The saving estimations concerning risk account for around 29%. In summary, total savings resulting from palletizing end up being superior to any possible extra caused with this action in particular [21].

The Pallet Loading Problems can be classified in:

- The Manufacturer's Problem: occurring when there are homogenous boxes to be efficiently placed onto a pallet.
- The Distributor's Problem: it arises when it is necessary to stack heterogeneous pieces onto a pallet [34].

The general PLP has been stated to be NP hard, i.e., it is said to be intractable because possible solutions require exponential time to occur, as well as the consumption of high computational resources [23], [20].

In the obtainment of the best possible arrangement in the manufacturer's problem, the organizations have used modern technology with the integration of the developed algorithms as a key tool because automated handling systems have become the means to load pallets. On the other hand, the distributor's problem has a distinctive nature of being non-repetitive and finding a solution through mathematical programming, heuristic models and other techniques is long-time demanding. Whenever the dimensions of the pallets as well as those of the different box types are pre-specified, and the availability of boxes is certain, the mathematical

approach fits correctly. The use of heuristics depends on different criteria, methods or principles to make the most effective decision, among several courses of action. Time is a key element as trying to find an optimal solution requires a long while, particularly in some specific events such as having boxes of different sizes coming on a conveyor line in a random sequence to be loaded optimally onto a pallet [12].

3. LITERATURE REVIEW

The extensive application and usefulness of an efficient pallet loading has made the PLP a widely revised problem throughout time by researchers all over the world. Thus, it is worthwhile presenting a summary of some of these approaches with the expectation of providing a vision of the complexity of the situation, the analysis of this problem and the proposals to solve it. This lays down the basis to choose the most suitable approach and characteristics in future approaches to the PLP.

As it can be observed in Table 1, both of the PLP variations (the Manufacturer's and the Distributor's) have been extensively studied, although the Manufacturer's PLP has been more widely revised, probably because of being "easier" than the Distributor's PLP.

Also, it can clearly be viewed that most of the researchers have treated the PLP as bi-dimensional so as to simplify it as the inclusion of height to make it three-dimensional increases the degree of complication to achieve efficiency.

It is important to remark that the PLP in general implies an orthogonal stacking in relation with the pallet. The pallet loading action also demands the possible rotation of the boxes in order to find their most adequate position in the search of the highest space utilization of the pallet's surface per layer and the proper pattern. In any of the variants, no box can overlap with other in a layer or else the solution becomes unfeasible, making it dismissible.

As it can be seen in Table 1, some of the exact algorithms developed in the works of [19] and [24] ended up with the creation a computational program to solve the PLP, such as POSY, LAG and LAGSUR, respectively. POSY proved to be efficient to solve 95% of the 1000 instances chosen in a period of time between one and 10 seconds. On the other

hand, in words of the authors, LAG had a better performance than LAGSUR solving up to 90% with the involvement of up to 100 boxes in a maximum of 80 seconds. In the case of [38], their work also produced a computational program to solve the PLP, although there is no reference of a given name for it. This program accomplish an efficient solution in its last stage with the implication of up to 2800 orders and 222 187 boxes which could be efficiently stacked in 3862 pallets in a running time of 8.79 seconds.

In other cases, programming languages such as C+ in its different versions have been the chosen language for the development of the algorithms as referred in [3], [8], [10], [12], [14], [23], [25], [26], [31], [37] and [39].

DELPHI is another programming language which researchers have used to develop their solution algorithms on the PLP as in [24], [25] and [29]. On the other hand, existing software like CPLEX, LINDO and CPN Tools has also been employed in the research of a solution for the PLP in [1], [4], [5] and [37].

Table 1 was developed to summarize the technique used in each of the approaches reviewed. It could be observed that the majority of them use exact algorithms with the incorporation of heuristics. The conformation of blocks (G4, G5), patterns or groups the heuristic method more widely employed when solving the PLP in either of its two variations as in the works of [1], [6], [7], [10], [14], [17], [31], [34], [37], [38] and [39]. Heuristics are normally used within these solution methods because they allowed the possibility to reduce computational time for this NP-hard problem.

Other researchers such as [1], [5], [8], [15], [22], [25] and [29] focused their researches on the use of specific techniques: B&D heuristic, Lagangrean relaxation, Tabu Search, branch-and-cut, L-approach and Branch and Bound, to mention some.

It is important to state that even when all methods have proved efficiency to solve the PLP in one or other way, they end up having limitations. For instance, the block or pattern methods cause spaces which cannot be completed in some instances causing a lower efficiency. In other methods, long time consuming and high demand of computational resources for big instances end up getting no efficient results.

Table 1

Summarized comparison of the different revised approaches on the PLP

Revised approaches in chronological order by author	Revised PLP variation				Treatment			Solution method		Software or encoding language					
	Manufacturer's PLP	Distributor's PLP	Bi-dimensional (2D)	Three-dimensional (3D)	Exact algorithm	Simulation	Heuristic method	FORTRAN	DELPHI	C++	CPLEX	LINDO	CPN Tools	Undefined	
(Dowland-A, 1987) in [18]	X		X		X									X	
(Dowland-B, 1987) in [19]	X		X		X			X							
(Tarnowski et al, 1994) in [2]	X		X		X									X	
(Abdou and Yang, 1994) in [11]		X		X	X									X	
(Bischoff & Ratcliff, 1995) in [6]		X		X			X							X	
(Bischoff et al, 1995) in [7]		X		X			X							X	
(Scheithauer & Terno, 1996) in [34]		X		X			X							X	
(Morabito & Morales, 1998) in [25]	X			X	X		X		X	X					
(Abdou & Elmasry, 1999) in [12]		X		X		X				X					
(Farago & Morabito, 2000) in [24]	X			X			X		X						
(Amaral & Wright, 2001) in [3]	X			X			X			X					
(Young-Gun G. & Kang, 2001) in [31]	X			X	X		X			X					
(Yamassaki & Pureza, 2003) in [5]	X			X			X				X				
(Álvarez-Valdés et al-A, 2005) in [22]	X			X	X		X								
(Lel, Creighton, Nahavandi, 2005) in [38]		X		X			X			X					
(Birgin et al, 2005) in [8]	X			X	X		X			X					
(Mascarenhas, 2005) in [40]	X			X	X									X	
(Alvarez-Valdes et al-B, 2005) in [23]	X			X	X		X			X					
(Pureza & Morabito, 2006) in [29]	X			X	X		X		X						
(Wu & Ting, 2007) in [37]	X			X	X		X			X	X				
(Mattos-Ribeiro & Nogueira-Lorena, 2007) in [13]	X			X	X		X			X	X				
(Birgin et al, 2008) in [9]	X			X	X		X			X					
(Martins & Dell, 2008) in [14]	X			X	X		X			X					
(Kocjan & Holmström, 2008) in [39]	X			X	X		X							X	
(Yía et al, 2009) in [17]	X			X	X		X								
(Lau et al, 2009) in [15]		X		X	X		X							X	
(Lim et al, 2010) in [26]		X		X	X	X				X					
(Al-Shayea, 2011) in [1]		X		X			X					X			
(Zúñiga et al, 2011) in [4]		X		X		X							X		
(Birgin et al, 2012) in [10]		X		X			X			X					

Table 2

Considerations in the development of the researches on the PLP

Revised approaches in chronological order by author	Stability	Demand	Limited height	Weight of the pallet	Profit	Preservation of the boxes	Unspecified considerations
(Dowsland-A, 1987) in [18]	X						
(Dowsland-B, 1987) in [19]							X
(Tarnowski et al, 1994) in [2]							X
(Abdou and Yang, 1994) in [11]	X	X					
(Bischoff & Ratcliff, 1995) in [6]							X
(Bischoff et al, 1995) in [7]	X						
(Scheithauer & Terno, 1996) in [34]	X	X	X	X			
(Morabito & Morales, 1998) in [25]							X
(Abdou & Elmasry, 1999) in [12]	X						
(Farago & Morabito, 2000) in [24]							X
(Amaral & Wright, 2001) in [3]							X
(Young-Gun G. & Kang, 2001) in [31]							X
(Yamassaki & Pureza, 2003) in [5]							X
(Álvarez-Valdés et al-A, 2005) in [22]							X
(Lel, Creighton, Nahavandi, 2005) in [38]		X					
(Birgin et al, 2005) in [8]							X
(Mascarenhas, 2005) in [40]							X
(Alvarez-Valdes et al-B, 2005) in [23]							X
(Pureza & Morabito, 2006) in [29]							X
(Wu & Ting, 2007) in [37]							X
(Mattos-Ribeiro & Nogueira-Lorena, 2007) in [13]							X
(Birgin et al, 2008) in [9]							X
(Martins & Dell, 2008) in [14]						X	
(Kocjan & Holmström, 2008) in [39]	X						
(Yía et al, 2009) in [17]	X						
(Lau et al, 2009) in [15]					X		
(Lim et al, 2010) in [26]							X
(Al-Shayea, 2011) in [1]				X			
(Zúñiga et al, 2011) in [4]			X	X		X	
(Birgin et al, 2012) in [10]							X

The positive results obtained with the use of the above mentioned techniques caused the interest of other researchers to develop hybrid methods which combined Lagrangean and Surrogate Relaxations; Lagrangean Relaxation and Clusters; Tabu Search with G4, Five-block Heuristic with L-approach; or Profit-based Heuristic with Genetic algorithms as in [3], [9], [13], [15] and [23].

Simulation has not been widely used as a solution method for the PLP in the past. However, in recent studies, as in the work of [4] and [26], simulation has proved to be useful to find proper solutions for it.

Due to its closeness to reality as it constitutes the imitation of a real-world process or that of a system, simulation has become relevant and popular due to the increased use of this technique in different fields such as engineering, business, mathematics and statistics; anthropology, psychology, medicine, physics and so on. It is quite versatile since it allows the design and analysis of activities on the smallest of motions and on the largest of systems. It comprises a mixture of the engineering concepts of design controlled with the experimental approach of science, as mathematics is a component in the solutions of problems and their verification [32].

Simulation represents a fruitful technique since it generates an artificial history of a system to provide the base for inferences with regards to the operating characteristics of the real system. With that, it gives certainty on the decisions due to its correct course of action. It is broad and flexible, providing a basis for continuous improvement according to the initial results and their performance.

The appearance and development of computers as well as their systems have provided access to an endless source of tools to find alternatives for the solution of a wide variety of situations in all kind of fields regardless their complexity. This is extensive to simulation which implies repetitive continuous experimentation without high costs, under safety environments, being also a training tool. Computer simulation allows the obtainment of an individual solution for a particular problem while analytical methods only provide general approaches. The application of computer simulation has allowed an easy experimentation with virtual environments with such an important level of detail even in complex problems [33].

Within the manufacturing industry, simulation is widely common due to advantages such as:

- Decisions can be confirmed artificially.
- The model can be re-utilized.
- Compared with other analytical techniques, simulations can be more easily created and demand fewer simplifications.
- The definition rules of the model are modifiable to alter its behavior.
- Special cases can always be taken into account during the execution of a simulation for experimentation.
- An interaction between the user and the simulator is always possible as well as the analysis of such an action.
- The use of simulation can cause to spend less time in the cycle of design and fewer requirements for initial resource investment.
- With simulation, economic benefits can be obtained since Research and Development cycles are feasible to get improved.
- The study does not affect the original entity (main matter of study) which can continue to be used [33].

The previous literature review on some of the existing approaches for the PLP has shown that many of the researchers took into account few of the vast considerations present in the reality, during the development of their model.

In this sense, stability has been the most widely included factor in the models granted that without it, a stacked pallet is difficult to be handled properly under the present circumstances of transportation and storage. As it can be seen in Table 2, seven out of 30 of the works take stability as one of the important factors because no pallet can be efficiently transported or stored in a pallet. If it is not stacked in such a way that it is stable or else it could simply collapse.

Some other studies like [1], [4] and [34] also consider a specific maximum height and / or weight, the demand of the customers for a specific product

packed in a certain box, or even safety characteristics, so the PLP is represented as realistic as it can be. Height and weight can always imply a restriction during transportation or handling, causing a limit to palletizing of various sorts of products in their respective box. In the automotive sector, customers usually provide packing standards in which they establish the maximum permissible height of a pallet, making it mandatory for all suppliers involved. Height is also important because the transportation vehicles, storing racks or other handling devices have been designed with certain dimensions which cannot be exceeded. Weight causes another limit for palletizing due to restrictions in transportation, customers' requirements, handling capacities, etc.

Other factors as demand can clearly represent a bounding element in distribution centers because pallets must not be stacked with any box, but those containing the required products. Demand in the Distributor's PLP can complicate or simplify the degree of heterogeneity regarding the boxes to be stacked onto the pallet (s).

Hence, the influence of factors as the previously mentioned should always be part of a field approach in a business so that the benefits of an efficient palletizing can become tangible.

It is relevant to mention that the application of PLP is not limited to packaging since it can also be used in production processes when glass, metal plates or other rectangular sheets of materials must be cut into pieces of different or homogeneous sizes, making the most efficient utilization of their surface.

In summary the importance of the PLP and its benefits make it a subject of analysis in the search of solution alternatives for the diverse situations involved.

4. CONCLUSIONS

Nowadays, the fierce competition that companies face makes it necessary for them to look for actions, which can provide savings or more efficient procedures so as to keep profitability of their businesses. Evidently, this may lead their managers to implement different strategies in various fields such as Logistics and all the activities involved in it, noticing that this comprises the procurement process, the productive

cycle as well as the supply to the customers. During all this chain, transportation and warehousing are key elements for each companies due to the costs and impact they cause. Because of that, whenever it is possible to reduce the impact of these two activities, companies can experience a higher efficiency.

Palletizing has an essential role during transportation and storage of many products in the present as it facilitates handling and enables the good utilization of the space in all kinds of premises. The awareness of this has made pallet loading a matter of extensive study throughout time, causing the development of different methods to achieve the most efficient stacking of identical or different-sized boxes onto the pallet under different circumstances as revised in this work.

Some of the solution methods have used heuristics such as Tabu Search or G4, the graph theory or Discrete Event Systems, to mention some. It could be observed that the manufacturer's PLP has been the most widely studied in particular reduced to bi-dimensional so as to ease its analysis. In contrast, the distributor's PLP has a deeper complexity since there are usually more considerations to take into account, making its solution more complicated. There is always an awareness of the complexity of the PLP due to different factors involved and therefore, many researchers have considered stability, height, weight or demand in their approaches.

As a method to achieve an efficient pallet loading, this work presents a literature review of the different solutions methods to understand how the PLP has been treated. Understanding all PLP characteristics, modeling approaches and technique allows to have the basis for the development of an innovative modeling and solution proposal.

As future work, it is intended to propose an innovative modeling approach which takes into account most of the characteristic mentioned on the works reviewed such as weight priority height limitations and priority rules among others. An optimization- simulation approach can be explore to cope with these complex problem, taking advantages of the characteristic of both methods. Simulation can tackle the stochastic parameters while optimization can provide a fast and feasible solution.

REFERENCES

- [1] Adel Mohammed Al-Shayea, "Solving the Three-Dimensional Palet-Paking Problem Using Mixed 0–1 Model," *Journal of Service Science and Management. Scientific Research*, pp. 513–522, Apr. 2011. Available: doi: 10.4236/jssm.2011.44059
- [2] Alexander G. Tarnowski, Johannes Terno & Guntram Scheithauer, "A polynomial time algorithm for the guillotine Palet Loading Problem," *INFOR* 1994; 32 (4):275-887. [online] Available: https://www.researchgate.net/publication/2308153_A_Polynomial_Time_Algorithm_for_the_Guillotine_Palet_Loading_Problem
- [3] André R. S. Amaral & Mike Wright, "Experiments with a strategic oscillation algorithm for the pallet loading problem", *International Journal of Production Research*, vol. 39, Issue 11, pp. 2341-2351, 2001. doi:10.1080/00207540110044589
- [4] C. Zúñiga & M. A. Piera & M. Narciso, "Revisiting the pallet loading problem using a discrete event system approach to minimise logistic costs", *International Journal of Production Research*, vol. 49, no. 8, pp. 2243–2264, Apr. 2011. doi:10.1080/00207541003702234
- [5] C. A. Yamassaki & V. Pureza, "Um refinamento do algoritmo tabu de Dowsland para o problema de carregamento de paletes do produtor", *Production*, vol.13 no. 3, pp. 1–14, 2003. doi: 10.1590/S0103-65132003000300002
- [6] E. E. Bischoff & M. S. W. Ratcliff, "Loading multiple pallets," *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 46, no. 11, pp. 1322-1336, Nov., 1995. doi: 10.2307/2584567
- [7] E.E. Bischoff, F. Janetz & M.S.W. Ratcliff, "Loading pallets with non-identical items," *European Journal of Operational Research*, vol. 84, ELSEVIER, pp. 681-692, 1995. doi:10.1016/0377-2217(95)00031-K
- [8] E. G. Birgin, R Morabito & F. H. Nishihara, "A note on an L-approach for solving the manufacturer's pallet loading problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, pp. 1448–1451. 2005. doi: 10.1057/palgrave.jors.2601960
- [9] Ernesto G. Birgin, Rafael D. Lobato & R. Morabito, "An effective recursive partitioning approach for the packing of identical rectangles in a rectangle," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 61, pp. 306–320. 2010. doi:10.1057/jors.2008.141
- [10] Ernesto G. Birgin, Rafael D. Lobato & R. Morabito, "Generating unconstrained two-dimensional non-guillotine cutting patterns by a recursive partitioning algorithm," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 63, No. 2, pp. 183–200. 2012. doi:10.1057/jors.2011.6
- [11] G. Abdou & M. Yang (1994), "A systematic approach for the three-dimensional palletization problem," United Kingdom: Taylor & Francis. DOI: 10.1080/00207549408957074
- [12] G. Abdou & M. Elmasry, "3D random stacking of weakly heterogeneous palletization problems," *International Journal of Production Research*, vol. 37, No. 7, pp. 1505-1524. 1999. DOI: 10.1080/002075499191102
- [13] G. Mattos Ribeiro & L. A. Nogueira Lorena, "Lagrangean relaxation with clusters and column generation for the manufacturer's pallet loading problem," *Computers & Operations Research*, vol. 34, no. 9, pp. 2695–2708. 2007. doi:10.1016/j.cor.2005.10.008
- [14] Gustavo H. A. Martins & Robert F. Dell, "Solving the pallet loading problem". *European Journal of Operational Research*, *ELSEVIER*, vol. 184, pp. 429–440. 2008. doi:10.1016/j.ejor.2006.11.012
- [15] H. C. W. Lau, T. M. Chan, W. T. Tsui, G. T. S. Ho & K. L. Cho. "An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 4296–4312. 2009. doi: 10.1016/j.eswa.2008.03.024
- [16] Jiamin Liu, Xiaorui Zhanga & Yong Yueb, "Effectively Handling Three-Dimensional Spaces for Container Loading," in *Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2012: International Conference of Numerical Analysis*

- and Applied Mathematics*, AIP Publishing, vol. 1479, No. 1, pp. 1960-1963, Sept. 2012. Available: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4756569>
- [17] Junmin Yia, Xing-Guang Chen & Jing Zhou, "The pinwheel pattern and its application to the manufacturer's pallet-loading problem," *International Transactions in Operational Research*, vol. 16, pp. 809–828. 2009. DOI: 10.1111/j.1475-3995.2009.00715.x
- [18] Kathryn A. Dowsland (A). "An exact algorithm for the pallet loading problem". *European Journal of Operational Research*, Vol. 31, pp. 78-84. 1987. DOI:10.1016/0377-2217(87)90140-8
- [19] Kathryn A. Dowsland (B), "A Combined Database and Algorithmic Approach to the Pallet-Loading Problem," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 38, No. 4, pp. 341-345. Apr. 1987. DOI: 10.2307/2582058
- [20] Kevin Leyton-Brown, Holger H. Hoos, Frank Hutter & Lin Xu, "Understanding the empirical Hardness of NP-Complete Problems," *Communications of the ACM (Association for Computing Machinery)*, vol. 57, no. 5, pp. 98-107. May 2014. doi: 10.1145/2594413.2594424
- [21] Marwa Bouka, "Container transport: understanding the benefits of palletizing," *Logistics & Transport Focus*, pp. 36-37. March 2010. [online] Available: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=9b040668-06e4-402b-838a-646d40f565f8%40sessionmgr120&hid=124>
- [22] R. Álvarez-Valdés, F. Parreño & J. M. Tamarit (A), "A branch-and-cut algorithm for the pallet loading problem," *Computers & Operations Research*, vol. 32, pp. 3007-3029, 2005. doi: 10.1016/j.cor.2004.04.010
- [23] R. Álvarez-Valdés, F. Parreño & J.M. Tamarit (B), "A tabu search algorithm for the pallet loading problem," *OR Spectrum*, vol. 27, pp. 43-61. 2005. doi: 10.1007/s00291-004-0183-5
- [24] Randal Farago & Reinaldo Morabito, "Um método heurístico baseado em relaxação lagrangiana para o problema de carregamento de paletes do produtor," *Pesquisa Operacional*, vol. 20, no. 2, pp. 197-212. 2000. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382000000200005>
- [25] Reinaldo Morabito & Silvia Regina Morales, "A simple and effective recursive procedure for the manufacturer's pallet loading problem," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 49, no. 8, pp. 819-828. Aug., 1998. doi: 10.2307/3009963
- [26] SungJin Lim, SeungNam Yu, ChangSoo Han & MaingKyu Kang, "Palletizing Simulator Using Optimized Pattern and Trajectory Generation Algorithm," *INTECH Open Access Publisher*, pp. 281-300. March 2010. Available: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/10192.pdf>
- [27] Teodor Gabriel Crainic, Guido Perboli & Roberto Tadei, "Extreme point-based Heuristics for three-dimensional Bin Packing," *INFORMS Journal on Computing*, vol. 20, no. 3, pp. 368–384, 2008. doi:10.1287/ijoc.1070.0250
- [28] Tobias Fanslau & Andreas Bortfeldt, "A Tree Search Algorithm for Solving the Container Loading Problem," *INFORMS Journal on Computing*, vol. 22, No 2, pp. 222-235. 2010. [online] Available: <http://dx.doi.org/10.1287/ijoc.1090.0338>
- [29] Vitória Pureza & Reinaldo Morabito, "Some experiments with a simple tabu search algorithm for the manufacturer's pallet loading problem," *Computers & Operations Research*, vol. 33, pp. 804–819. 2006. doi: 10.1016/j.cor.2004.08.009
- [30] Ya Liu, Chenbin Chu & Kanliang Wang, "A dynamic programming-based heuristic for the variable sized two-dimensional bin packing problem," *International Journal of Production Research*, vol. 49, no 13, pp. 3815-3831. 2011. doi:10.1080/00207543.2010.501549
- [31] Young-Gun G. & Maing-Kyu Kang, "A fast algorithm for two-dimensional pallet loading problems of large size," *European Journal of Operational Research*, vol. 134, no 1, pp. 193-202. 2001. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00249-6

- [32] Jerry Banks, John S. Carson II, David Nicol & Barry L. Nelson (2002), "Discrete-Event System Simulation," United States of America: Prentice Hall.
- [33] Gabriel A. Wainer (2009), *Discrete-Event Modeling and Simulation*. United States of America: Taylor & Francis Group, LLC.
- [34] Guntram Scheithauer & Johannes Terno, "A heuristic approach for solving the Multi-Pallet Packing Problem," Technical Report, Dresden University. Dresden, Germany. 1996. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.46.3988&rep=rep1&type=pdf>
- [35] David Pisinger, "Algorithms for Knapsack Problems," (1995). PhD thesis, University of Copenhagen, Dept. of Computer Science, Feb. 1995. [ONLINE] Available: <http://www.diku.dk/~pisinger/95-1.pdf>
- [36] Jens Egeblad. "Heuristics for Multidimensional Packing Problems". PhD thesis, University of Copenhagen, Department of Computer Science, Jul. 2008. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.229.3169&rep=rep1&type=pdf>
- [37] K. C. Wu, C. J. Ting, "A Two-phase Algorithm for the Manufacturer's Pallet Loading Problem," *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Singapore*, pp. 1574-1578. 2-4 Dec. 2007. doi: 10.1109/IEEM.2007.4419457
- [38] Vu T. Le, Doug Creighton & Saeid Nahavandi, "A Heuristic Algorithm for Carton to Pallet Loading Problem," *INDIN'05, 3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEE*, pp. 593-598. 2005. doi: 10.1109/INDIN.2005.1560443
- [39] Waldemar Kocjan & Kenneth Holmström, "Generating Stable Loading Patterns for Pallet Loading Problems," In *The Fifth International Conference on Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems CPAIOR08*, 2008. [online] Available: https://contraintes.rocq.inria.fr/CPAIOR08/BPPC/bppc08_submission_2.pdf
- [40] Walter F. Mascarenhas, "Two aspects of the pallet loading problem," *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 19, pp. 381-387. 2005. doi: 10.1016/S0377-2217(99)00263-5
- [41] Ziao-Fung Ho, Lai-Soon Lee, Zanariah Abdul Majid and Hsin-Vonn Seow, "An Improved GRM_{OD} Heuristic for Container Loading Problem," in *International Conference on Mathematical Sciences and Statistics (ICMSS2013): Proceedings of the International Conference on Mathematical Sciences and Statistics, AIP Publishing*, pp. 439-443. 2013. Available: <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4823952>

GUÍA PARA AUTORES

Tipología de artículos para la revista

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

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

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

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

Envío de manuscritos

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

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

Utilizar plantilla oficial de la revista.

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

Máxima extensión del artículo.

7.000 palabras.

Formato de párrafos

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

Resumen.

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

Numeración de títulos y encabezados.

En listas multiniveles con números arábigos hasta el subnivel 3.

Cuerpo del manuscrito.

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

Citaciones y referencias.

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

Proceso de evaluación y arbitraje

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

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

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

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

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

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

Derechos de autor

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

Originalidad y divulgación de artículos

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

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

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

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

GUIDE FOR AUTHORS

Typology of articles for the journal

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

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

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

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

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

Requirements of manuscripts

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

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

Use official magazine template

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

Maximum length of the article

7000 words.

Paragraphs formatting

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

Abstract

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

Numbering of titles and headers

In multilevel lists with Arabic numerals to the sublevel 3.

Body of manuscript

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

Citations and bibliographic references

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

Evaluation process and arbitration

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

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

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

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

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

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

Copyright

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

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

Originality letter

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

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

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

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