AVANCES EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

PROCEEDINGS BOOK

Compiladores:
Alexander Pulido-Rojano
Remberto De la Hoz-Reyes
Enrique Melamed-Varela

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA
VIGILADA MINEDUCACIÓN
Personería jurídica – Resolución 1318 del 15 de noviembre de 1972 de la Gobernación del Atlántico
Resolución 5424 del 23 de noviembre de 2005 Ministerio de Educación Nacional
Acreditación Institucional de Alta Calidad – Resolución 23095 del 15 de diciembre de 2016

DIRECTIVOS SALA GENERAL

Presidenta
Ana Consuegra de Bolívar

Vicepresidenta
Ana de Bayuelo

Miembros
José Eusebio Consuegra Bolívar
Jorge Reynolds Pombo
Ángel Carracedo Álvarez
Antonio Cacua Prada
Jaime Niño Díez (q.e.p.d)
Juan Manuel Ruiseco
Carlos Corredor Pereira
Jorge Emilio Sierra Montoya
Ezequiel Ander-Egg
José Ignacio Consuegra Manzano
Eugenio Bolívar Romero
Álvaro Castro Socarrás
Ignacio Consuegra Bolívar
Patricia Martínez Barrios

Rector Fundador
José Consuegra Higgins (q.e.p.d)

Rector
José Consuegra Bolívar

VICERRECTORÍA ACADÉMICA	VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN	VICERRECTORÍA FINANCIERA	VICERRECTORÍA DE INFRAESTRUCTURA
Sonia Falla Barrantes	Paola Amar Sepúlveda	Ana de Bayuelo	Ignacio Consuegra Bolívar

Dirección de Investigaciones
Yaneth Herazo Beltrán
Jefe de Publicaciones
Milena Zabaleta de Armas

CONTACTO

Sede Principal
Carrera 59 No. 59-65
PBX +57 (5) 344 4333.
Fax : +57 (5) 3682892
www.unisimon.edu.co

Sede Cúcuta
Av. 3 No. 13-34 La Playa
P.B.X: +57 (7) 582 7070
http://www.unisimoncucuta.edu.co

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA
VIGILADA MINEDUCACIÓN

Personería jurídica – Resolución 1318 del 15 de noviembre de 1972 de la Gobernación del Atlántico
Resolución 5424 del 23 de noviembre de 2005 Ministerio de Educación Nacional
Acreditación Institucional de Alta Calidad – Resolución 23095 del 15 de diciembre de 2016

AVANCES EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS
PROCEEDINGS BOOK

ISBN: 978-958-5430-49-5

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidencia:

Nancy Lizcano Ortiz, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Miembros

Remberto De La Hoz Reyes, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

María Auxiliadora Iglesias Navas, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Ronald Antonio Prieto Pulido, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Ana Beatriz Blanco Ariza, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Carlos Pérez González, *Universidad de La Laguna, España*

Joaquín Sicilia Rodríguez, *Universidad de La Laguna, España*

Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón, *Tecnológico de Monterrey, México*

Erick Eduardo Orozco Acosta, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Ivonne Esther Acendra Henríquez, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Fernando Cárdenas Cañaveral, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Alexander Pulido Rojano, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Compiladores:

PhD. Alexander Pulido-Rojano
PhD. (c) Remberto de la Hoz-Reyes
Bs C. Enrique Melamed-Varela

Ejes temáticos

Programación lineal y no lineal
Gestión de inventarios
Administración de la producción
Control estadístico de la calidad
Gestión de la calidad
Gestión de la cadena de abastecimientos
Diseño y análisis de experimentos
Planeación estratégica
Gestión del conocimiento
Probabilidad y procesos estocásticos
Simulación
Sistemas y programación
Sistemas integrados de gestión
Modelos matemáticos
Marketing experiencial
Gestión de organizaciones
Comportamiento del consumidor
Finanzas
Modelos de regresión
Teoría de la localización
Modelos de programación
Teoría de colas
Fiabilidad y mantenimiento
Teoría de juegos
Investigación de operaciones aplicada

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA
VIGILADA MINEDUCACIÓN

Personería jurídica – Resolución 1318 del 15 de noviembre de 1972 de la Gobernación del Atlántico
Resolución 5424 del 23 de noviembre de 2005 Ministerio de Educación Nacional
Acreditación Institucional de Alta Calidad – Resolución 23095 del 15 de diciembre de 2016

AVANCES EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS
PROCEEDINGS BOOK

ISBN: 978-958-5430-49-5

COMITÉ CIENTÍFICO

Presidencia:

Joaquín Sicilia Rodríguez, *Universidad de La Laguna, España*
Alexander Pulido Rojano, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*

Miembros

Luis Augusto San José Nieto, *Universidad de Valladolid, España*
Luis Eduardo Ortiz Ospino, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Leopoldo Cárdenas Barrón, *Tecnológico de Monterrey, México*
Erick Orozco Acosta, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Claudia Tinoco Guerrero, *U. de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia*
José Sergio Fernández, *Universidad del Chaco Austral, Argentina*
Alex Ruiz Lázaro, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Vicent Giner-Bosch, *Universidad Politécnica de Valencia, España*
Julio Mario Daza Escorcia, *Universidad de Valencia, España*
Ana María Meléndez, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Reynaldo Villarreal G., *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Paola Sánchez Sánchez, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
José Miguel Gutiérrez Expósito, *Universidad de La Laguna, España*
Arnaldo Verdeza Villalobos, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Ingrith Rodríguez G., *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Juan Carlos García Díaz, *Universidad de Valencia, España*
Vladimir Quintero Méndez, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Enrique Martelo López, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
David Alcaide López de Pablo, *Universidad de La Laguna, España*
Beatriz Abdul-Jalbar Betancor, *Universidad de La Laguna, España*
Roberto Dorta Guerra, *Universidad de La Laguna, España*
Marcos Colebrook Santamaría, *Universidad de La Laguna, España*
Valentín Pando Fernández, *Universidad de Valladolid, España*
Concepción Maroto Álvarez, *Universidad P. de Valencia,* España
Diana Heredia Vizcaíno, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Paul Sanmartín Mendoza, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
José Rafael García González, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Juan C. Calabria Sarmiento, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Carlos A. Ochoa Pertuz, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Silvia Moreno Trillos, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Andrés F. Quintero Parra, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Mario Bonfante Aldana, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Alexis Messino Soza, *Universidad Simón Bolívar, Colombia*
Juan García Laguna, *Universidad de Valladolid, España*
Andres Redchuk, *Universidad Lomas de Zamora, Argentina*
Eduardo Ocampo Ferrer, *Universidad Nacional de Colombia*
Manuel Campuzano Hernández, *Universidad de Valencia, España*
Erik Maldonado Ascanio, *Universidad de Valencia, España*
Juan Pablo Escorcia Caballero, *Universidad de Valencia, España*
Daniel Romero Rodríguez, *University of South Florida, USA*
Odette Chams Anturi, *Universidad de Valencia, España*

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
BARRANQUILLA Y CÚCUTA - COLOMBIA | VIGILADA MINEDUCACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
PhD. (c) Remberto De la Hoz Reyes

SECRETARÍA ACADÉMICA
Diana Barceló Bolívar

INGENIERÍA INDUSTRIAL	INGENIERÍA DE SISTEMAS	INGENIERÍA DE MERCADOS
Directora: Nancy Lizcano Ortiz	Director: Fernando Cárdenas Cañaveral	Director (e): Remberto de la Hoz

COORDINACIÓN DE DOCENCIA	COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN	COORDINACIÓN DE EXTENSIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL	COORDINACIÓN DE INTERNACIONALIZACIÓN
Inmaculada Manotas Bolaño	María A. Iglesias Navas	Rafael Cabeza Gordillo	Erick Orozco Acosta

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS

DECANO DE LA FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS
PhD. Ronald Antonio Prieto Pulido

SECRETARÍA ACADÉMICA
Freddy Ortega Tordecilla

ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	CONTADURÍA PÚBLICA	COMERCIO Y NEGOCIOS INTERNACIONALES
Directora: Gisella Rodríguez Calderón	Director: Genner Maestre Maya	Directora: Angélica Jiménez Chávez

COORDINACIÓN DE DOCENCIA	COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN	COORDINACIÓN DE EXTENSIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL	COORDINACIÓN DE INTERNACIONALIZACIÓN
Eduardo Salazar Araujo	Ana Blanco Ariza	Magda Monsalve Peláez	Orlando Hernández Ariza

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ASOCIADOS AL CENTRO DE CRECIMIENTO EMPRESARIAL MACONDOLAB

Grupo INGEBIOCARIBE
Líder: Alexis Messino Soza
amessino@unisimonbolivar.edu.co

Grupo Gestión Organizacional
Líder: Ana Blanco Ariza
ablanco1@unisimonbolivar.edu.co

Grupo Estratégico para el Mejoramiento Aplicado (GEMAS)
Líder: Luis Eduardo Ortiz Ospino
lortiz27@unisimonbolivar.edu.co

Grupo Gestión de la Innovación y el Emprendimiento
Líder: Paola Amar Sepulveda
pamar@unisimonbolivar.edu.co

Grupo Innovación Tecnológica en Salud
Líder: Rodolfo Vega Llamas
cochoa1@unisimonbolivar.edu.co

Grupo Innovación y Desarrollo Empresarial (GIDE)
Líder: Hernan Saumett España
herse47@unisimonbolivar.edu.co

ÍNDICE

Prólogo 1
Remberto De la Hoz-Reyes

1. FULL PAPERS

Equilibrio de Nash en puertos del caribe colombiano 3/9
Darwin Peña González[1] & Nestor Caicedo Solano[1]
Universidad del Norte – Colombia[1]

El emprendimiento desafío en la amazonia ecuatoriana 10/16
Neyfe Sablón Cossio[1], Matteo Radice[1] & Nelly Manjarez[1]
Universidad Estatal Amazónica – Ecuador[1]

Clasificador de carne de res usando redes neuronales 17/24
Cesar Augusto Vega Fernández[1], María Xóchitl Altamirano Herrera[2], Rogelio García Rodríguez[2], Manuel Hernández Hernández[2] & Claudio Vite Cristóbal[2]
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Colombia[1]
Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca – México[2]

Determinación de las condiciones óptimas de operación para un proceso de corte con plasma a través de un diseño experimental 25/31
Guillermo Alberto Camacho-Muñoz[1], Heriberto Alexander Felizzola Jiménez[1], Miguel Omar Ríos Cabra[1], Jhon Alexander Parra Jiménez[1] & David Álvarez-Martínez[2]
Universidad de la Salle – Colombia[1]
Universidad de los Andes – Colombia[2]

Estudio comparativo de las potencias de gráficos de control CUSUM y MCUSUM, al interactuar con un proceso simulado 32/38
Manuel Campuzano Hernández[1], Carlos Miguel Rodríguez Moreno[2], Franklin Junior Choles Mendoza[2] & Andrés Carrión García[3]
Universidad de Valencia – España[1]
Universidad del Magdalena – Colombia[2]
Universidad Politécnica de Valencia – España[3]

Revisión de la literatura para la medición del desempeño de métodos de pronósticos en la cadena de suministros 39/44
Paula Andrea Zapata Flórez[1] & Carlos Alberto Castro Zuluaga[1]
Universidad EAFIT – Colombia[1]

Una propuesta para gestionar el conocimiento generado del proceso de seguimiento de objetivos y resultados clave (OKR) 45/50
Alonso Pérez-Soltero[1], Misael Gómez-Encinas[1], Mario Barceló-Valenzuela[1] & Gerardo Sánchez-Schmitz[1]
Universidad de Sonora – México[1]

Evaluación de la logística de transporte del gas natural (GNL, GNC y gasoductos) aplicada al pre-sal brasilero 51/58
Laura Jessenia Silva Granada[1] & Paulo de Barros Correia[1]
Universidad Estadual de Campinas – Brasil[1]

Estudio sobre las tendencias logísticas en el sector hospitalario 59/65
Sara Melguizo Melguizo[1] & Juan Gregorio Arrieta Posada[1]
Universidad EAFIT – Colombia[1]

Ubicación de almacenamiento bajo un sistema de producción JIS para una empresa del clúster automotriz mexicano 66/72
Isidro Jesús González Hernández[1], José Fabricio Ríos Fernández[1], Edmundo Salazar Cornejo[1] & José Luis Martínez-Flores[1]
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla – México[1]

Preceptos de protección y prevención contra caída de alturas 73/79
Elías Alberto Bedoya Marrugo[1]
Fundación Universitaria Tecnológica COMFENALCO – Colombia[1]

Metodología para la identificación y documentación del conocimiento de los procesos clave en empresas de servicios intensivos en conocimiento 80/87
Stephania Corral-Escobosa[1], Alonso Pérez-Soltero[1], José Luis Ochoa-Hernández[1] & Mario Barceló-Valenzuela[1]
Universidad de Sonora – México[1]

Estudio de los indicadores de gestión de las universidades públicas colombianas: una aplicación del análisis factorial múltiple 88/95
Delimiro Alberto Visbal-Cadavid[1], Mónica Martínez Gómez[2] & Adel Mendoza Mendoza[3]
Universidad del Magdalena – Colombia[1]
Universidad Politécnica de Valencia – España[2]
Universidad del Atlántico – Colombia[3]

Una propuesta para la documentación de procesos atendiendo a la ISO 9001:2015 y considerando la gestión del conocimiento 96/102
Alonso Pérez-Soltero[1], Sofía Chávez-Aguiñaga[1], Mario Barceló-Valenzuela[1] & Gerardo Sánchez-Schmitz[1]
Universidad de Sonora – México[1]

Modelado de la gestión de operaciones y de capacidad de una empresa de transporte de carga utilizando dinámica de sistemas 103/109
Edgar Fernando Venegas Daza[1], Edgar Leonardo Duarte Forero[1] & Román Anselmo Mora Gutiérrez[2]
Universidad Libre – Colombia[1]
Universidad Autónoma Metropolitana – México[2]

Optimización de los niveles de inventario multiproducto para una empresa mexicana maquiladora de cajas de cartón 110/115
Rosmery Caridad Acosta Núñez[1], Guillermo Airam Piloto Cuellar[1], José Luis Martínez-Flores[1] & Diana Sánchez-Partida[1]
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) – México[1]

Evaluación del desempeño de las universidades públicas colombianas mediante análisis envolvente de datos y máquina de soporte vectorial 116/122
Delimiro Alberto Visbal-Cadavid[1], Jacqueline Orjuela Pedraza[2] & Adel Mendoza Mendoza[3]
Universidad del Magdalena – Colombia[1]
Universidad Politécnica de Valencia – España[2]
Universidad del Atlántico – Colombia[3]

Elementos a considerar para el diseño de una propuesta metodológica de evaluación de cursos de entrenamiento 123/130
Carlos Aguilar-Bernal[1], Alonso Pérez-Soltero[1], Gerardo Sánchez-Schmitz[1] & René Fornés Rivera[2]
Universidad de Sonora – México[1]
Instituto Tecnológico de Sonora – México[2]

Manufactura esbelta y manejo de bodegas de carga. Una aproximación rápida a la literatura..... 131/138
Eduardo Ocampo Ferrer[1]
Fundación Universidad Autónoma de Colombia – Colombia[1]

Optimización de la longitud promedio de corrida (Average Length Run, ARL) para gráficos de control de procesos EWMA 139/144
Néstor Enrique Caicedo Solano[1] & Carlos Daniel Paternina Arboleda[1]
Universidad del Norte – Colombia[1]

Análisis comparativo de modelos de planeación agregada de las ventas y operaciones: caso de estudio empresa "Cartagenera de Icopores S.A."..... 145/151
Hernando Garzón Saenz[1], José Manuel Solana Garzón[1] & Bruno Rahmer[1]
Fundación Universitaria Tecnológica COMFENALCO – Colombia[1]

Algoritmos constructivos meta-heurísticos para solucionar el problema de programación de vehículos de transporte público de pasajeros con múltiples depósitos..... 152/162
Cesar Augusto Marín Moreno[1], Antonio Hernando Escobar Zuluaga[1], John Wilmer Escobar Velásquez[2] & Luis Miguel Escobar Falcón[1]
Universidad Tecnológica de Pereira – Colombia[1]
Universidad del Valle – Colombia[2]

Modelo conceptual para la planificación, implementación y operación de sistemas de gestión integral QHSE3+ conformes con las normas ISO 9001, 45001, 14001 Y 50001 ..... 163/173
Pedro Pablo Poveda-Orjuela[1], J. Carlos García-Díaz[2] & Germán Cañón-Zabala[3]
ASTEQ Technology – Colombia[1]
Universidad Politécnica de Valencia – España[2]
QUARA Technology – Colombia[3]

Greedy Randomized Adaptive Search Procedure – (GRASP) applied to the unconstrained two-dimensional guillotine single knapsack problem 174/181
Guillermo Alberto Camacho-Muñoz[1], Paula Velasco-Carvajal[2] & David Álvarez-Martínez[1]
Universidad de la Salle – Colombia[1]
Universidad de los Andes – Colombia[2]

Greedy Randomized Adaptive Search Procedure - (GRASP) applied to the three dimensional bin packing problem 3D-BPP 182/188
Guillermo Alberto Camacho-Muñoz[1], Paula Velasco-Carvajal[2] & David Álvarez-Martínez[1]
Universidad de la Salle – Colombia[1]
Universidad de los Andes – Colombia[2]

Prólogo

EL VI Congreso Iberoamericano de Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas (IOCA) resulta de la iniciativa de una red académica de investigadores en torno a temas de la mayor relevancia científica de la Ingeniería y la Administración, liderados por la Universidad de la Laguna (España), el Instituto Tecnológico de Monterrey (México) y la Universidad Simón Bolívar (Colombia); fue esta última Institución, la que para los días 21 a 23 de marzo de 2017, sirvió como anfitriona, acogiendo a los miembros de la comunidad, conferencistas, profesores y estudiantes de grado y postgrado, quienes presentaron los resultados de su trabajos de investigación. La dinámica de trabajo académico, posibilitó al IOCA 2017 lograr su propósito, al convertirse en un foro para difundir información sobre la investigación más reciente y pertinente en ciencias de Investigación y Gestión de Operaciones, incluyendo teorías y prácticas dentro de este campo de aplicación.

Para consolidar este trabajo, se realizó una convocatoria abierta a investigadores de la comunidad científica Iberoamericana, a fin de captar trabajos de investigación en torno a las temáticas y discusiones más relevantes sobre el eje académico central del Congreso; los trabajos fueron sometidos al arbitraje del Comité Científico conformado por investigadores de la Universidad Simón Bolívar de Colombia, de España participaron en la evaluación investigadores de la Universidad de Valladolid, la Universidad de la Laguna y la Universidad Politécnica de Valencia; de México procedentes del Instituto Tecnológico de Monterrey, de Bolivia de la Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra; de Argentina la Universidad Nacional de Chaco Austral y de la Universidad Nacional Lomas de Zamora; y finalmente la University of South Florida, de Estados Unidos.

Dentro de los tópicos que recogen estos desarrollos investigativos se cuentan: en la línea de Investigación de Operaciones y Estadística Aplicada, programación lineal y no lineal, diseño y análisis de experimentos, probabilidad y procesos estocásticos, simulación, modelos matemáticos, modelos de regresión, teoría de la ubicación, planificación de modelos, teoría de colas, teoría de juegos y aplicaciones de la investigación operativa; en la línea de Gestión de la Producción, la gestión del inventario, producción, control de calidad y normas, gestión de la calidad, gestión de la cadena de suministro, sistemas y programación, sistemas integrados de gestión, fiabilidad y mantenimiento; en la línea de Gestión de las Organizaciones, planificación estratégica, gestión del conocimiento, marketing experiencial, comportamiento del consumidor y finanzas.

Con esta publicación, se busca contribuir a los objetivos del IOCA como espacio académico y a su consolidación, manteniendo la dinámica de trabajo que ha permitido su realización periódica en Instituciones de Educación Superior de Iberoamérica. Particularmente, las memorias editadas en formato texto, aportan a la construcción colaborativa de la red de investigadores, constituyéndose en una forma de intercambiar ideas y enfoques que contribuyan al desarrollo de las ciencias de Investigación y Gestión de Operaciones, mostrando de manera articulada y sistemática los avances en la materia, sus aplicaciones y por supuesto, fortaleciendo las relaciones de intercambio de universidades e instituciones de investigación reconocidas. Siendo así, la presente obra representa el esfuerzo de toda una comunidad académica y como tal, reviste gran importancia y valor científico; a su vez, es el resultado del permanente trabajo de consolidación de capacidades científicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Simón Bolívar, que con sus pares internacionales gesta y consolida escenarios de discusión académica y reflexión sobre los modelos teóricos contemporáneos de la Ingeniería, en relación directa con el desarrollo empresarial e industrial.

Ing. Remberto De la Hoz-Reyes, PhD(c)

Decano, Facultad de Ingenierías

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Cúcuta

ISBN: 978-958-5430-49-5

1. FULL PAPERS

ISBN: 978-958-5430-49-5

EQUILIBRIO DE NASH EN PUERTOS DEL CARIBE COLOMBIANO

Darwin Peña González[1]
Néstor Caicedo Solano[2]

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen diferentes elementos los cuales describen el juego planteado entre dos puertos del caribe colombiano. Estos elementos tales como información completa, juego estático y colusión, permiten realizar un breve análisis necesario que cada puerto pueda elegir la estrategia óptima que le permita sobrevivir en el actual entorno competitivo.

1. INTRODUCCIÓN

Los puertos marítimos ejercen un papel muy importante en cuanto a la ejecución de las operaciones comerciales en el país (Bejarano, 2013). Para el año 2013, más del 90% de las exportaciones e importaciones se realizan por este medio. El país posee nueve zonas portuarias, de las cuales siete se encuentran ubicadas en la Costa Caribe, y dos en la Costa Pacífica. Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, son los principales puertos del Caribe colombiano, ya que conforman una oferta diversa tanto en terminales públicos como en privados compitiendo entre sí con otros de la región. La globalización, la eliminación de las barreras al comercio, el crecimiento sin precedentes de la utilización de contenedores y el incremento del comercio por el mar han influido en el transporte y las cadenas logísticas marítimos (Button, 1979)

En este trabajo se realizara una breve revisión de la literatura entorno a los estudios e investigaciones realizadas en el papel de los puertos marítimos en el ámbito de la logística marítima mundial (Buck Consultants International, 2009), políticas de desarrollo para la región caribe expresados en Mejía et al. (2004), políticas portuarias en Colombia reflejado en el documento del Departamento Nacional de Planeación ([DNP], 2013), algunas propuestas para competir en una economía globalizada, tal como son las ciudades portuarias en el caribe colombiano mencionado en (Viloria, 2006). También se mostrará una reseña de los puertos del caribe colombiano en particular los puertos de Cartagena y Santa Marta (Bejarano, 2013), (Viloria de la Hoz, 2006), (Noguera, 1998). Y finalmente el modelo de juego, con los pagos, la matriz de pago y el análisis y resultados del mismo (Koffmann, 2012; Zhou & Wang, 2008).

2. ANTECEDENTES

Durante la década de los 60, la investigación emergente en el ámbito económico para describir la interacción Puerto vs Naviera se centraba en el análisis de costos y beneficios, dado que aún no existía una medida homogénea y estándar para analizar coherentemente los comportamientos tanto de los costos, los ingresos y los niveles de producción de los puertos en general (Koffmann, 2012).

La literatura muestra que los primeros asomos de estudios sobre el campo de competencia inter-portuaria inician a mediados de la década de los 80. En esta época, los temas de eficiencia tanto privada como social ya habían sido ampliamente referidos en diversos trabajos, dándole una estructura microeconómica sólida a los posteriores estudios. (Bobrovitch, 1982) traza uno de los primeros referentes a la competencia entre los puertos, tomando en cuenta de que la amplia mayoría eran monopolios geográficos. A pesar de esto, su estudio se centra en la competencia entre dos puertos separados geográficamente, donde ambos proveen el mismo servicio, pero con distintas tarifas.

Para la década de los noventa, el tema de interés de la investigación en general coincide con los temas de imperfecciones de mercado, en especial por la alta proporción de puertos privados imperante. Las navieras empiezan a formar carteles, conocidos como conferencias, dándoles un alto poder de mercado, y transformando la situación de libre competencia en un estado de oligopolio (Koffmann, 2012).

[1] Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, darwing@uninorte.edu.co
[2] Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, nestorc@uninorte.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

Una rúbrica completa de la literatura sobre economía portuaria puede hallarse en (Pallis et al., 2011). En esta, se revisa un total de 395 publicaciones generadas entre los años 1997 y 2008, argumentando que el interés en el estudio de puertos ha estado en un constante aumento. En esta misma revisión se muestra que este crecimiento se debe a las nuevas preguntas que se generan de la investigación, generalmente con una relevancia práctica (Heaver *et al.*, 2001), el aumento de complejidad en la estructura organizativa de los puertos (De Langen, 2004) y la importancia que ha tomado el uso de políticas portuarias basadas en resultados teóricos, respecto a las políticas antiguas (Bichou & Gray, 2005).

3. PUERTOS DEL CARIBE COLOMBIANO

Colombia cuenta con una ubicación privilegiada, situada en el punto focal de la actividad marítima por su cercanía al Canal de Panamá y en el cruce de las principales vías de comunicación del comercio mundial, además de ser un punto de conexión estratégico entre Norte y Sur América, y entre la Costa Este y Oeste de EE.UU y Asia, desde los puertos colombianos, conectan más de 3.700 rutas marítimas de exportación en servicio regular, directas y con conexión, ofrecidas por más de 34 navieras con destino a más de 670 puertos en el mundo, estos aspectos le dan a Colombia una posición estratégica en la región.

En un estudio del Banco Mundial (2006), se plantea que la gestión de los puertos públicos en Colombia a través de Sociedades Portuarias Regionales, significó un avance en sus inicios pero hoy en día estos están quedando rezagados debido a los cambios en el mercado de servicios portuarios y marítimos y a limitaciones en el esquema de organización de la administración portuaria. El diagnóstico permitió identificar ineficiencia en el uso del espacio portuario por destinar a almacenamiento áreas que debían dedicarse a transferencia de carga; falta de competencia derivada del esquema monopólico o de cartelización de operadores que redunda en abusos tarifarios, y trato preferencial a ciertos usuarios (principalmente azúcar y café).

Los puertos públicos de Colombia muestran una tendencia hacia la especialización, si se analiza a partir del movimiento de carga: Cartagena está impulsando un crecimiento asociado al tráfico de contenedores (trasbordo), en una zona de alta competencia con los puertos del Caribe y Centroamérica (Panamá, Bahamas y Jamaica principalmente); Barranquilla es un terminal multipropósito; Santa Marta está asociada con los gráneles sólidos y el carbón, y Buenaventura es el puerto multipropósito más grande del país (DNP, 2005).

3.1. Puerto de Cartagena

La zona portuaria de Cartagena, que está ubicada sobre la bahía del mismo nombre, en el corredor Manga Mamonal. Este corredor industrial y portuario tiene 20 kilómetros de longitud y 3.100 hectáreas ocupadas, en donde se concentran cerca de 150 empresas, en la que sobresalen las industrias manufactureras y las sociedades portuarias. Allí se ubican 54 muelles (incluidos los astilleros), de los cuales cerca de 20 adelantan actividades de comercio internacional. Los terminales ubicados en Cartagena tienen comunicación con el resto del país por dos sistemas modales principales (Viloria, 2006): el carretero (carreteras troncal de Occidente Cartagena-Medellín, y transversal del Caribe Cartagena Barranquilla Santa Marta Maicao Maracaibo) y el fluvial, que comunica a la bahía de Cartagena con el río Magdalena, a través del Canal del Dique.

3.2. Puerto de Santa Marta

La zona portuaria de Santa Marta que tiene el mejor puerto natural de aguas profundas con 12,6 m (42 pies) de profundidad y de aguas tranquilas, pero así mismo cuenta con la desventaja de estar rodeado por la ciudad y por cerros a orilla de mar, lo que restringe sus posibilidades de expansión futura (Viloria, 2006). Además de los muelles de la Sociedad Portuaria de Santa Marta, la zona cuenta con los terminales de Ecopetrol-Pozos Colorados (muelle petrolero), Prodeco y Drummond (muelles carboneros). Santa Marta es el único puerto sobre el Caribe colombiano que cuenta con servicio férreo, que lo interconecta con el interior andino, el valle del Magdalena y la zona carbonífera del Cesar favoreciendo el aspecto multimodal del puerto.

ISBN: 978-958-5430-49-5

4. JUEGOS DE MOVIMIENTOS ÚNICO SIMULTANEO (MUS)

Para el análisis de mercados en los que actúan un número limitado de actores, basados en desarrollos de teoría de juegos aplicada al análisis económico, existe una gran variedad de herramientas. La gran mayoría cumple funciones predictivas, donde se obtiene un conjunto de posibles resultados de una interacción entre varios agentes. Estos resultados difieren en general a los de correspondientes a mercados con un gran número de agentes, donde se da una competencia más cercana (Koffmann, 2012). Cuando los agentes son limitados y existen posibilidades de cooperación, se da en general la competencia imperfecta, pues son muy pocos los agentes como para acercarse al resultado óptimo social tan sólo por mecanismos propios del mercado, sin intervención de una regulación externa. La teoría de juegos determina los distintos resultados de las acciones, definidas como estrategias, que pueden resultar de una competencia o juego, asumiendo que los actores son racionales (Koffmann, 2012). Los juegos tienen diferentes estructuras dependiendo de las características de los jugadores, como por ejemplo la información que estos poseen, la capacidad de cooperar o no, etc.

4.1. El juego

El papel del puerto ha cambiado de acuerdo con la economía global. Un puerto no puede monopolizar el mercado en un entorno competitivo. Cuando unos pocos puertos están en la cara del mismo grupo de clientes, que naturalmente, forman un sistema de puertos de grupos, es necesario que cada puerto pueda elegir la estrategia óptima para sobrevivir en el entorno competitivo, tales como No coludir, Coludir o la estrategia de No coludir-Coludir (Zhou & Wang, 2008).

Supongamos que hay ni con $i = 1,2$ puertos en el mar Caribe colombiano que ofrecen servicios a los clientes. P_i con $i = 1,2$ representa el precio del servicio ofrecido por el puerto i. D_i con $i = 1,2$ representa la demanda del puerto i. Además, supongamos que la función de demanda de cada puerto es lineal y que no solo es una relación con su propio precio del servicio, sino también con las de los demás. Así que:

$$D_i = \alpha - P_i + f(P_1, \dots, P_n) \qquad (1)$$

Sea C_i el costo fijo del puerto i, La función de ganancia de cada puerto puede ser definido como sigue:

$$\omega_i = P_i D_i - C_i \qquad (2)$$

Supongamos que hay dos puertos en el mismo mercado en el caribe colombiano, puerto 1: Cartagena, puerto 2: Santa Marta. Las funciones de demanda son respectivamente:

$$D_1 = \alpha - P_1 + \beta P_2 \qquad (3)$$

$$D_2 = \alpha - P_2 + \beta P_1 \qquad (4)$$

La constante $\alpha > 0$ y el par´ametro β $(0 < \beta < 1)$ representan la tasa de sustitución de servicio de dos puertos. Por lo tanto, tenemos las funciones de beneficio de la siguiente manera:

$$\omega_1 = P_1(\alpha - P_1 + \beta P_2) - C_1 \qquad (5)$$

$$\omega_2 = P_2(\alpha - P_2 + \beta P_1) - C_2 \qquad (6)$$

Y supongamos que el Puerto 1 y Puerto 2 tienen información completa de cada uno, lo que significa que están familiarizados con los costos de su contraparte. Ninguno de ellos es líder ni seguidor, para que puedan tomar decisiones simultaneas, para coludir o no coludir con su contraparte.

4.2. Los pagos

Para un juego estático de No coludir-No coludir con información completa, significa que ambos puertos toman decisiones al mismo tiempo y cada puerto elige su tarifa para maximizar sus propios beneficios. De modo que el equilibrio Bertrand-Nash de los puertos se puede resolver. Maximizando el beneficio de cada puerto que está caracterizado respectivamente por:

$$\partial_{P_1}\omega_1 = 0 \quad y \quad \partial_{P_2}\omega_2 = 0 \qquad (7)$$

ISBN: 978-958-5430-49-5

Resolviendo el problema de optimización obtenemos el siguiente resultado:

$$\widehat{\omega_1} = \frac{\alpha^2}{(2-\beta)^2} - C_1 \quad \text{y} \quad \widehat{\omega_2} = \frac{\alpha^2}{(2-\beta)^2} - C_2 \qquad (8)$$

Para el juego estático de coludir-no coludir con información completa, significa que cada puerto toma decisiones de forma simultánea. El puerto 1 elige su tarifa para maximizar los beneficios totales de estos puertos, mientras que el puerto 2 solo elige su tarifa para maximizar sus propios beneficios, de la siguiente forma:

$$\partial_{P_1}(\omega_1 + \omega_2) = 0 \quad y \quad \partial_{P_2}\omega_2 = 0 \qquad (9)$$

Optimizando obtenemos el siguiente resultado:

$$\widehat{\omega_1} = \frac{\alpha^2(\beta+1)}{2(2-\beta^2)} - C_1 \text{ y } \widehat{\omega_2} = \frac{\alpha^2(\beta+2)^2}{4(2-\beta^2)^2} - C_2 \qquad (10)$$

Para el juego estático de no coludir-coludir con información completa significa que cada puerto toma decisiones de forma simultánea. El puerto 2 elige su tarifa para maximizar los beneficios totales de estos puertos, mientras que el puerto 1 solo elige su tarifa para maximizar sus propios beneficios, de la siguiente forma:

$$\partial_{P_1}\omega_1 = 0 \quad y \quad \partial_{P_2}(\omega_1 + \omega_2) = 0 \qquad (11)$$

Optimizando obtenemos el siguiente resultado:

$$\widehat{\omega_1} = \frac{\alpha^2(\beta+2)^2}{4(2-\beta^2)^2} - C_1 \text{ y } \widehat{\omega_2} = \frac{\alpha^2(\beta+1)}{2(2-\beta^2)} - C_2 \qquad (12)$$

Y finalmente para el juego estático coludir-coludir con información completa significa que cada puerto toma decisiones de forma simultánea y cada puerto elige su tarifa para maximizar el beneficio total de los dos puertos, de la siguiente forma:

$$\partial_{P_1}(\omega_1 + \omega_2) = 0 \quad y \quad \partial_{P_2}(\omega_1 + \omega_2) = 0 \qquad (13)$$

Optimizando obtenemos el siguiente resultado:

$$\widehat{\omega_1} = \frac{\alpha^2}{4(1-\beta)} - C_1 \quad \text{y} \quad \widehat{\omega_2} = \frac{\alpha^2}{4(1-\beta)} - C_2 \qquad (14)$$

4.3. Matriz de pagos

De los resultados obtenidos en (8), (10), (12), (14), podemos construir la siguiente matriz de pagos:

Tabla 1. Matriz de pagos modelo de juego

P_1 \ P_2	σ^{**}:No coludir	σ^{*}:Coludir
σ^{**}:No coludir	$\left(\frac{\boldsymbol{\alpha^2}}{\boldsymbol{(2-\beta)^2}} - \boldsymbol{C_1}; \frac{\boldsymbol{\alpha^2}}{\boldsymbol{(2-\beta)^2}} - \boldsymbol{C_2}\right)$	$\left(\frac{\boldsymbol{\alpha^2(\beta+2)^2}}{\boldsymbol{4(2-\beta^2)^2}} - \boldsymbol{C_1}; \frac{\boldsymbol{\alpha^2(\beta+1)}}{\boldsymbol{2(2-\beta^2)}} - \boldsymbol{C_2}\right)$
σ^{*}:Coludir	$\left(\frac{\boldsymbol{\alpha^2(\beta+1)}}{\boldsymbol{2(2-\beta^2)}} - \boldsymbol{C_1}; \frac{\boldsymbol{\alpha^2(\beta+2)^2}}{\boldsymbol{4(2-\beta^2)^2}} - \boldsymbol{C_2}\right)$	$\left(\frac{\boldsymbol{\alpha^2}}{\boldsymbol{4(1-\beta)}} - \boldsymbol{C_1}; \frac{\boldsymbol{\alpha^2}}{\boldsymbol{4(1-\beta)}} - \boldsymbol{C_2}\right)$

Fuente: Elaboración propia

Asignado valores a cada uno de los elementos que aparecen en la tabla 1, donde los costos fijos C_1, C_2 son los costos de los contenedores 20' o 40' llenos movilizados vía marítima por contenedor (SPSM, 2011) y (SPRC, 2015), además α , β son datos arbitrarios, es decir

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$\alpha = 8; \beta = 0; C_1 = C_2 = 18$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Matriz de pagos modelo de juego con valores

P_1 \ P_2	σ^{**}:No coludir	σ^{*}:Coludir
σ^{**}:No coludir	(20,20)	(33,18)
σ^{*}:Coludir	(18,33)	(35,35)

Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS

5.1. Equilibrio de Nash en estrategias puras

Para buscar los equilibrios de Nash en estrategias puras de este juego, procederemos tomando cada posible combinación de estrategias del puerto 1 y la estrategia para el puerto 2. Verificaremos si cada una de estas, al menos un jugador tiene incentivos unilaterales para desviarse. Tomemos la combinación de estrategias en la que el puerto 2 juega la estrategia de No coludir, para el puerto 1 será mejor jugar No coludir, obtiene un pago de 20 superior al pago de 18. Si el puerto 2 juega la estrategia de Coludir, el puerto 1 juega la estrategia de coludir, obtiene un pago de 35 superiores al pago de 33. Tomemos ahora la combinación de estrategias en la que el puerto 1 juega a No coludir, para el puerto 2 será mejor jugar también No coludirse obteniendo un pago de 20 superior a 18. Si el puerto 1 juega a Coludir, para el puerto 2 será mejor coludirse, obteniendo un pago de 35 superiores a 33. Así que los equilibrios de Nash en estrategias puras son dos:

$$(\sigma_1^*; \sigma_2^*) \quad \text{y} \quad (\sigma_1^{**}; \sigma_2^{**})$$

5.2. Equilibrio de Nash en estrategias mixtas

Supongamos ahora que, en el juego planteado, dado que ningún puerto tiene la certeza acerca de la elección de su oponente, cada uno de ellos debe asignar probabilidades a las estrategias de acuerdo a sus creencias. Sea:

$$\mathrm{q} = \mathrm{P}\{\text{Puerto2} \rightarrow \text{No colude}\}$$

$$1 - \mathrm{q} = \mathrm{P}\{\text{Puerto2} \rightarrow \text{colude}\}$$

$$\mathrm{p} = \mathrm{P}\{\text{Puerto1} \rightarrow \text{No colude}\}$$

$$1 - \mathrm{p} = \mathrm{P}\{\text{Puerto1} \rightarrow \text{colude}\}$$

Si el puerto 1 juega óptimamente una estrategia mixta tenemos:

$$\mathrm{EU}_1(\mathrm{NC}) = \mathrm{EU}_1(\mathrm{C})$$

$$20\mathrm{q} + 33(1 - \mathrm{q}) = 18\mathrm{q} + 35(1 - \mathrm{q})$$

$$\mathrm{q} = \frac{1}{2}$$

Si el puerto 2 juega óptimamente una estrategia mixta tenemos:

$$\mathrm{EU}_2(\mathrm{NC}) = \mathrm{EU}_2(\mathrm{C})$$

$$20\mathrm{p} + 33(1 - \mathrm{p}) = 18\mathrm{p} + 35(1 - \mathrm{p})$$

$$\mathrm{p} = \frac{1}{2}$$

ISBN: 978-958-5430-49-5

Con lo que el equilibrio de Nash en estrategias mixtas para este juego es el siguiente:

$$\left(\frac{1}{2}\mathrm{NC}+\frac{1}{2}\mathrm{C};\frac{1}{2}\mathrm{NC}+\frac{1}{2}\mathrm{C}\right)$$

6. CONCLUSIONES

El caribe colombiano posee un gran potencial en su capacidad portuaria y situación geográfica privilegiada. Los puertos estudiados son puertos marítimos como lo son, el de Cartagena y Santa Marta, ya que el puerto de Barranquilla se encuentra sobre el Rio Magdalena, aunque su cercanía al mar caribe lo hace también muy importante y relevante por la industrialización de la ciudad. Sin embargo, el estudio se realiza solo en los dos puertos más importantes marítimos del caribe colombiano que se encuentran en la actualidad, teniendo en cuenta su capacidad, situación geopolítica, demográfica y comercial entre otras.

En cuanto al objeto de estudio del trabajo, el juego planteado para los puertos en mención, se comprueba la construcción de modelo de juego estático con información completa donde coludir y no coludir son parte de las combinaciones de este. Los resultados obtenidos se encontraron dos equilibrios de Nash en estrategias puras y una en estrategias mixtas. La matriz de pago se construyó con dos elementos ficticios y uno tomado de las tablas de la sociedad portuaria de Santa Marta y de Cartagena (costos de los contenedores 20' o 40' llenos movilizados vía marítima por contenedor). Este estudio solo muestra uno de los tantos factores de la tasa de sustitución de servicios de los puertos, hay muchos factores que influyen en ella. Es decir, no solo la capacidad de la base de un puerto, sino también factores internos y externos. Lo cual se hace necesario futuros estudios relacionados al tema.

LISTA DE REFERENCIAS

Banco Mundial. (2006). *Situación actual y perspectivas de los puertos públicos en Colombia*. México D.F., México: Editorial Alfaomega.

Bejarano, F. (2013). *Sector portuario colombiano e incidencia de. Bogotá: Superintendencia de industria y comercio*. Recuperado desde: http://www.sic.gov.co/

Bichou, K., & Gray, R. (2005). A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part A, 39*(1), 75-92.

Bobrovitch, D. (1982). Decentralised Planning and Competition in a National Multi-Port System. *Journal of Transport Economics and policy, 16*, 31-42.

Buck Consultants International. (2009). *La evaluación del papel de los puertos. Bruselas: Departamento Temático Políticas Estructurales y de Cohesión.* Recuperado desde: http://www.europarl.europa.eu/

Button, K. (1979). The Economics of Port Pricing. *Journal of Maritime,* 201-207.

De Langen, P. (2004). Governance in seaport clusters. *Maritime Economics & Logistics, 6*(2), 141-156.

DNP. (2005). *Plan de expansión portuaria 2005-2006: Estrategias para la competitividad del sector portuaria.* Documento Conpes 3342, Bogotá D.C., Colombia. Recuperado desde: http://www.minambiente.gov.co/

DNP. (2013). Política portuaria para un país moderno. Documento Conpes 3744, Bogotá D.C, Colombia.

Heaver *et al.* (2001). Co-operation and competition in international container transport: strategies for ports. *Maritime Policy & Management, 28*(3), 293-305.

Koffmann, E. (2012). Modelos de competencia y equilibrios de subjuegos perfectos aplicados a una terminal portuaria. Santiago de Chile: Pontificia universidad Católica de Chile, Escuela de ingenieria. Recuperado desde: https://repositorio.uc.cl/

Mejia *et al.* (2004). Política de desarrollo para la región caribe (borrador preliminar). Barranquilla: Corporación Autónoma Regional del Atlántico.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Noguera, E. (1998). Puertos de aguas profundas sobre la margen occidental de Bocas de Ceniza: una necesidad para Colombia. *Revista informativa Cámara de Comercio de Barranquilla*, No. 197.

Pallis et al. (2011). Port Economics, Policy and Management: Content Classification and Survey. *Transport Reviews, 31*(4), 445-471.

Portafolio. (2012, Noviembre 27). Recuperado desde: http://www.portafolio.co/

SPRC. (2015). (S. P. Cartagena, Producer) Recuperado desde el puerto de Cartagena, disponible en: http://www.puertocartagena.com/es/portafolio-de-servicios/consulta-de-tarifas

SPSM. (2011). (L. T. SPSM, Producer) Recuperado desde: Puerto de Santa Marta: http://www.spsm.com.co/

Viloria, J. (2006). *Ciudades portuarias del Caribe colombiano: propuestas para competir en una economía globalizada.* Cartagena: Banco de la República. Recuperado desde: http://www.banrep.gov.co/

Zhou, X. & Wang, L. K. (2008). Static Game Analysis on Different Strategies Adopted. *IEEE,* 1-4. doi:10.1109/WiCom.2008.2078

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

EL EMPRENDIMIENTO DESAFÍO EN LA AMAZONIA ECUATORIANA

Neyfe Sablón Cossío[1]
Matteo Radice [2]
Nelly Manjarez [3]

RESUMEN

El emprendimiento es una práctica internacional, que se vincula con el Biocomercio preferentemente en países con rica biodiversidad e influye para su desarrollo las cadenas de valor donde estén insertados. El Ecuador es un país mega-diverso y, aunque su PIB depende de la producción de materias primas e hidrocarburos, no se ha profundizado todavía cual es el aporte de la biodiversidad a la generación de economía monetaria. Por lo que el objetivo de este trabajo es analizar la relación de los emprendimientos con enfoque de Biocomercio en la Amazonia Ecuatoriana, y la influencia de las cadenas de valor. Se identifican los emprendimientos que existen en esta región del país, se analizan sus productos, se determinan si existen en el portafolio de negocios productos de la biodiversidad y se proponen acciones para la inserción de este enfoque de valorización de biodiversidad local. Se añade un análisis crítico de varios indicadores socio-económicos, que reflejan la situación actual de esta región. Se utilizan un grupo de especialistas y estudiantes para este estudio de la Universidad Estatal Amazónica, y es especial los integrantes de la Unidad de Gestión de Emprendimiento. Además, se evalúan las posibles cadenas de valor del territorio y su nivel de desarrollo.

Se utilizan técnicas multicriterios que facilitan la identificación de valor en los productos y su relación al bio-comercio en los emprendimiento amazónicos. Esta investigación se encuentra en etapa de diagnosis, y como resultado las mejoras que contribuyan al desarrollo de los emprendimientos. El trabajo posee, un valor social que se manifiesta en la contribución a las PYMES de la amazonia ecuatoriana y un valor práctico como de la consecuencia la mejora en productos propios con valor agregado.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial (Oppenheimer 2013), los emprendimientos se convierten en una necesidad. En Ecuador las PYMES juegan un papel importante dentro de la economía del país, representan el 30% del PIB. Emplean el 70% de la fuerza laboral debido a su relación e incidencia en la generación de empleo (Glaz 2015). Sin embargo, existen varias dificultades relacionadas con el éxito de estos emprendimientos, debido a la menor disponibilidad de recursos económico y tecnológico entre otras limitantes para emprender (Oyarvide Ramírez, Abata de la Cruz *et al.* 2016).

A pesar de que el país se considera megadiverso, esta capacidad distintiva no se aprovecha para la mejora del sector productivo y se utiliza como sector primario las especies introducidas que se comportan de manera invasiva para el medio ambiente. Además, la trasformación productiva del país es incipiente y las exportaciones del Ecuador dependen de materias primas, con una prevalencia de los recursos naturales no renovables (petróleo crudo), y las cadenas de valor se presentan en un bajo nivel. Por tanto se hace necesario el biocomercio a través de emprendimientos en base a productos naturales (endémicos) para el desarrollo de la industria farmacéutica, alimenticia, cosmética y el turismo sostenible (Biocomercio - 2014 2016).

Por emprendimiento se define la capacidad de las personas para traducir ideas en actos (Lagunes 2014, Ibars Hernández, Corona Mayoral *et al.* 2016). Implica ser creativo, tomar la iniciativa, innovar, asumir riesgos y gestionar los proyectos personales y profesionales para alcanzar objetivos concretos (Guerra Triviño 2015).

[1] PhD. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador, nsabloncossio@gmail.com
[2] PhD. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador, mradice@uea.edu.ec
[3] PhD. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador, vicerrectorado@uea.edu.ec

ISBN: 978-958-5430-49-5

Hace una década, el estudio de este proceso muestra uno de los crecimientos más rápidos dentro de las ciencias sociales - económicas.

Actualmente, en un contexto de crisis económica generalizada, en específico coincide la disminución del crecimiento de China, el bajo precio del petróleo, la Brexit y el terrorismo, el emprendimiento se considera como una práctica clave a la hora de reactivar los sistemas económicos estancados e impulsar un crecimiento sostenible y coherente (Perdomo Charry, Arias Pérez *et al.* 2016). Una forma de identificar actitudes emprendedoras y poder potenciarlas de diferentes maneras, para que las ideas se hagan realidad y poder elevar el ánimo a egresados y profesionales para que puedan iniciar un negocio propio, es la utilización de la educación superior. El uso de vías innovadoras que favorezcan esta formación es tema del presente trabajo, donde se destaca a las incubadoras de empresas como una de las alternativas para potenciar las nuevas ideas de docentes, investigadores y estudiantes. Los centros de educación superior cuentan con fortalezas relacionadas a la infraestructura, talento humano y recursos técnicos y tecnológicos que ofrecen un soporte a los nuevos emprendimientos y crea una relación conveniente entre el sector empresarial, la universidad y la sociedad en general (Regalado, Reynoso *et al.* 2016, Perdomo, Alcívar *et al.* 2017).

Las incubadoras de empresas surgen y evolucionan en el mundo y específicamente en América Latina, como solución al fracaso que se produce al iniciar un nuevo negocio debido a la falta de recursos necesarios para poner en marcha a la idea (Quiroz Carvajal, Perdomo Charry *et al.* 2016, Regalado, Reynoso *et al.* 2016).

Las incubadoras de empresas surgen en la década del 70, a partir de la década del 80, se registra en América Latina un incremento en las acciones desarrolladas por las universidades con el fin de generar algún tipo de vinculación con el sector productivo. Este proceso incorporó, desde mediados de los años 90, mecanismos de creación y promoción de emprendimientos productivos innovadores. El principal arreglo institucional utilizado para lograr dicho objetivo fue el de las incubadoras de empresas (Andrade, Pasin *et al.* 2016, Leiva, González *et al.* 2016).

2. SITUACIÓN DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

El territorio ecuatoriano abarca solamente el 0,2% de la superficie terrestre del planeta, pero en su superficie albergan el 70% de las especies biológicas conocidas en el mundo (Mittermeier 1997) y por lo tanto, Ecuador, pertenece a los 17 países definidos megadiversos. En Ecuador se encuentra el 7% de las especies de plantas vasculares que existen en la Tierra, el 20% de las orquídeas y el 11% de los helechos, (Neill 2012). Otros autores reportan que la biodiversidad nacional abarca el 18% de las especies de aves, entre ellas el 50% de las que existen en Suramérica, y el 7% de los anfibios (Ridgely & Greenfield 2001). Esta inmensa riqueza biológica se une a una gran riqueza cultural, representada por 14 etnias o nacionalidades, de las que diez viven en la Región Amazónica Ecuatoriana. Los conocimientos tradicionales de estas culturas son de una gran complejidad y abarcan la cosmovisión, las artes, las formas de vivir, la organización social, y las relaciones entre los seres humanos y su contexto natural.

El 15% del PIB es de la Amazonia Ecuatoriana, cuando el territorio que abarca es de 46,5% en relación al país (Gutiérrez, Sousa et al. 2015), y el 85% al resto del país (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2012).

2.1. Índice de competitividad global

El índice de competitividad global se centra en el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de la productividad de un país (Schwab 2015). El nivel de productividad, a su vez, establece el nivel de prosperidad que se puede ganar por una economía. Estos aspectos son evaluados dentro los 12 pilares, y se enfocan en: instituciones, infraestructura, ambiente macroeconómico, salud y educación básica, educación superior y capacitación, eficiencia del mercado de bienes, eficiencia del mercado laboral, desarrollo del mercado financiero, preparación tecnológica, tamaño del mercado, sofisticación de los negocios e innovación.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Se basa en más de 110 indicadores que incluyen cifras oficiales provenientes de diversas fuentes nacionales e internacionales y la información proveniente de encuestas de opinión realizadas a más de 12 mil líderes empresariales en todos los países. Ecuador se encuentra en el puesto 76 del ranking de competitividad (Schwab, 2016), baja de un valor de 4,18 en 2014 a 4,07 en el 2016, aunque esta disminución no afecta el valor medio en que se ubica.

Dentro de este indicador se ofrece un lugar importante las cadenas de valor, cadenas de suministro y red de redes. Por lo que se inicia el estudio en las cadenas existentes en la Región Amazónica y el estudio de los emprendimientos dentro de ellas.

2.2. Condiciones sistémicas para el emprendimiento en América Latina

Kantis y sus colaboradores, analizan dentro del programa de emprendimientos el desarrollo de los mismos en América Látina, e identifican un índice que oscila entre 1 y 100. Se enfocan en 10 dimensiones: el capital humano emprendedor, la cultura, las condiciones sociales, el sistema educativo, las condiciones de la demanda, la estructura empresarial, la plataforma de ciencia y tecnología para la innovación, el capital social, el financiamiento y las políticas y regulaciones (Kantis, Federico *et al.* 2016). Además, pondera un ranking de 56 países, donde Ecuador presenta el lugar 48 con un valor del índice de 24.73 en el 2016 que representan una evaluación de medio bajo, con un valor decreciente respecto al año anterior en uno.

3. METODOLOGÍA

Se identifican los emprendimientos de mayor desarrollo, en este caso leche y guayusa. Donde se aplica de forma parcial el Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica en una cadena de valor (MPCE) que consta de tres etapas y 11 pasos (Sablón Cossio, Acevedo Suárez *et al.* 2016); que integran un grupo de herramientas que facilitan la implementación de la planificación colaborativa y el control a nivel estratégico en las cadenas. Dentro de los objetivos del MPCE se encuentran: determinar el Nivel de Planificación Colaborativa (NPC) de los actores de la cadena de valor, analizar el nivel de integración de la cadena, diseñar tipos de estrategias (Matriz de interrelación entre el NPC de las estrategias propuestas) y objetivos para la planificación colaborativa en las cadenas y formular un plan de negocio conjunto para las cadenas de estudio que incida en la mejora de la competitividad. La matriz permite, en función del NPC en que se encuentra la cadena, el planteamiento de la estrategia. El NPC se calcula mediante una lista de chequeo de 91 preguntas. Además, se define si el modelo de la cadena de es amazónico o introducido en la zona.

4. RESULTADOS

4.1. Cadena de la leche

En el estudio de las cadenas de valor de la región, se identifican que el desarrollo se enfocan a productos alejados de la biodiversidad, que a la vez influyen de manera negativa en el cuidado de los recursos naturales. Un caso es la cadena agroalimentaria de lácteos, que se pudiera enriquecer con frutos propios de la amazonia y ricos en propiedades nutricionales.

La cadena agroalimentaria de lácteos en la Parroquia Puyo en la provincia Pastaza de la región Amazónica Ecuatoriana se encuentra constituido por trece actores agrupados en cuatro eslabones: proveedores, productor, vendedores y consumidores (ver figura 1).

ISBN: 978-958-5430-49-5

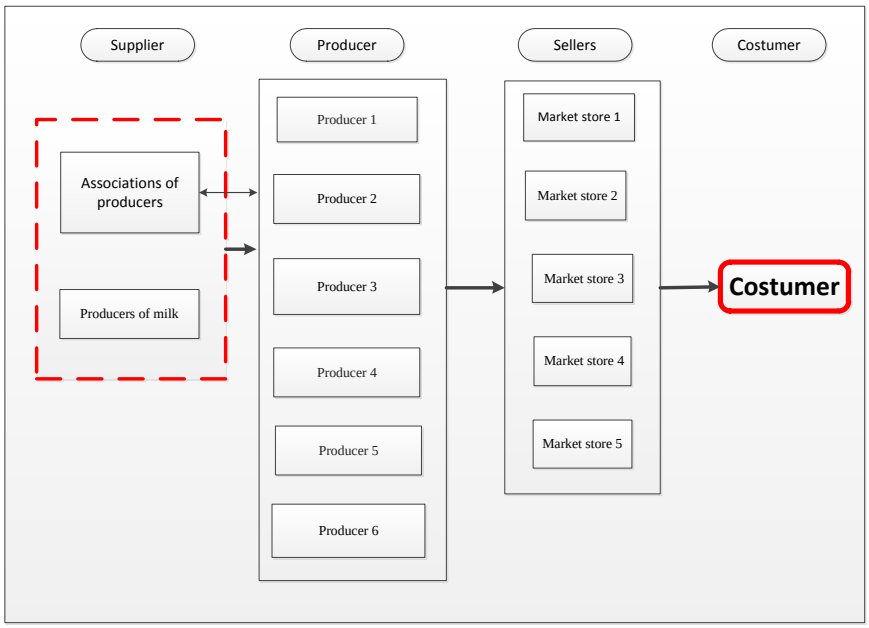


Figura 1. Mapa de la cadena de la leche de Pastaza

Los resultados de la lista de chequeo del Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica en los actores de la cadena ofrecen que las variables de bajo nivel resultan: la evaluación de desempeño, la evaluación media de las empresas, los contratos, la gestión de inventario, la estrategia de la empresa, la distribución de mercancía, en el pronóstico de la demanda, en la información, en la formulación de escenarios en la organización, en las compras, en los planes, en los Proveedores, en los objetivos estratégicos y en los clientes, ver Figura 2.

La Etapa del nivel de integración entre los actores es bajo nivel de integración, por lo que se ubica en la etapa de asignación-negociación. Debido a este resultado, las estrategias deben encaminarse a la negociación entre los actores. En este caso, la cadena no presentan valores de la biodiversidad, y a la vez su desarrollo es bajo.

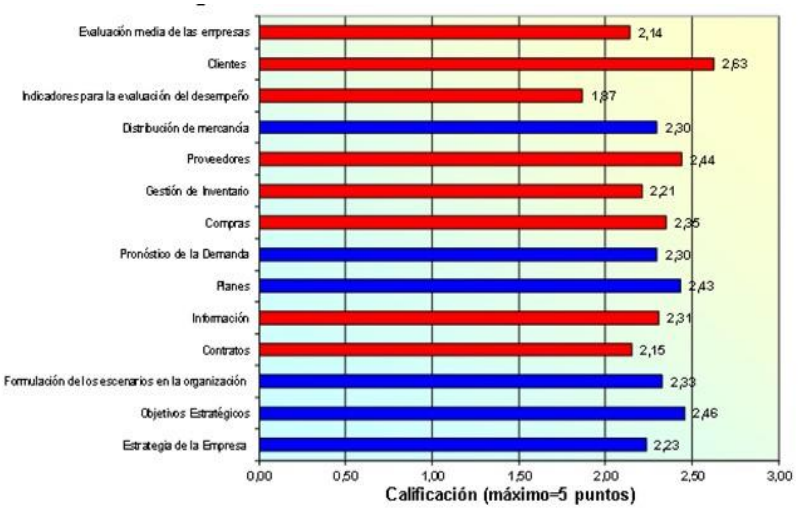


Figura 2. Estado actual del modelo de planificación colaborativa estratégica de la cadena agroalimentaria

Los tipos de objetivos estratégicos conjuntos se centran en potenciar la satisfacción de los clientes con base a:

- *Alcance del mercado:* aumentar la cuota del mercado en un 40% de la amplitud total a través de la mejora del producto (Inclusión de recursos de la biodiversidad)

ISBN: 978-958-5430-49-5

- *Competitividad:* Aumentar en 20% la eficiencia de los recursos logísticos y el de las industrias.
- *Nivel de servicio:* aumentar la variedad mediante 3 nuevos productos, donde se realcen la cultura de la amazonia ecuatoriana.

4.2. Cadena de guayusa

La cadena de *Ilex Guayusa*, es de un producto endémico de la zona con propiedades antioxidantes. La cadena de se encuentra constituido por trece actores agrupados en cuatro eslabones: proveedores, productor, vendedores y consumidores. El primer eslabón está integrado 13 productores primarios, siembra. El segundo, por 8 fábricas que en su totalidad no se encuentra en la amazonia ecuatorial, aunque su materia prima si de ella, se ubican en Quito, Ambato y Cuenca. El tercer eslabón, se estudian los mercados y hay presencia de sus marcas en Megamaxi, Supermaxi, Tia, Aki, Fibeca, mercados locales de la Amazonia y en puntos de venta en mercados propios de los fabricantes en distintas regiones del país.

Esta cadena presenta productos con valor agregado, Tabla 1:

Tabla 1. Productos con valor agregado en la cadena de Guayusa

PRODUCTOS	FOTOS
Té de Runa Guayusa Amazónica Orgánica Original	
Bebida refrescante GUAYUSA FRESH	

En los resultados de la lista de chequeo del Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica las variables de bajos niveles se centran en: la formulación de escenarios, en los contratos, en la información, en la formulación de escenarios en la organización, en las compras, en la gestión del inventario, en la distribución de mercancías y en los indicadores de la evaluación del desempeño, (ver Figura 3). La cadena de la guayusa presenta un valor de 3.10 que representa un nivel medio.

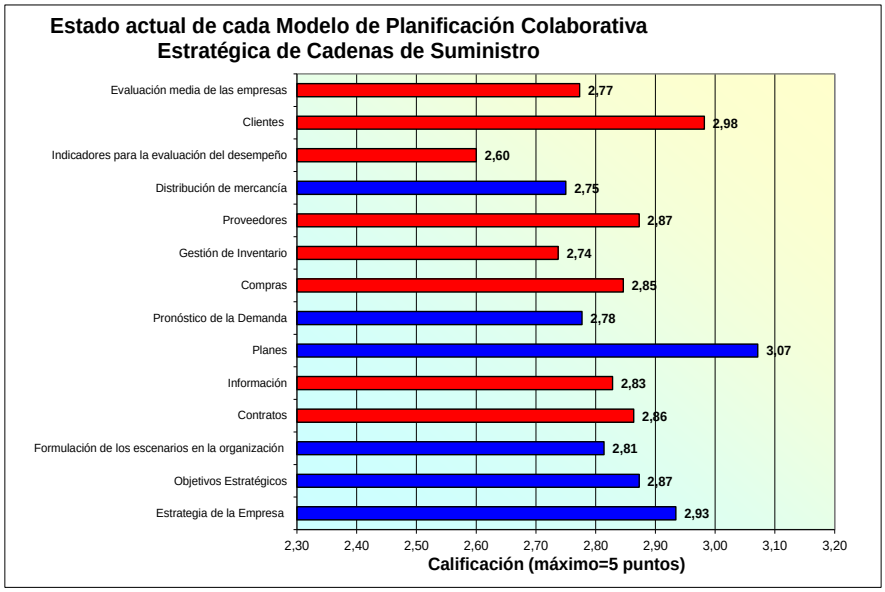


Figura 3. Estado actual de cada variable del Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica

ISBN: 978-958-5430-49-5

Se demuestra, que es significativo el desarrollo de las cadenas de valor en productos propios de la Amazonia, y para los emprendedores forman parte de su cultura por lo que se mantienen en el tiempo. Aunque, se debe diversificar los productos.

5. ACCIONES DE MEJORA PARA EL BIOCOMERCIO EN LA AMAZONIA ECUATORIANA.

A partir del estudio se definen algunas acciones para el desarrollo de los emprendimientos en base a la biodiversidad y el manejo de estos a través de cadenas de valor, a saber:

- Implementar las políticas públicas de protección a la biodiversidad.
- Potenciar programas de investigación básicos y aplicados a los productos de la
- Biodiversidad, con enfoques específicos farmacéuticos, cosméticos, alimentos y de nuevos materiales.
- Impulsar herramientas financieras para el biocomercio.
- Ruedas de negocios nacionales e internacionales en temas de biocomercio.
- Potenciar las marcas y los registros.
- Aumentar lo atractivo del biocomercio para disminuir el impacto ambiental.
- Desarrollar la organización, la gobernanza en base al biocomercio y las cadenas de valor en base a elementos del biocomercio (Sablón Cossio, Radice *et al.* 2016)

6. CONCLUSIÓN

Se concluye que el desarrollo de productos del biocomercio en la Amazonia es débil, y por ende los emprendimientos se enfocan en productos de otras regiones, que influyen en el fracaso constantemente de estos. Donde el desarrollo de las cadenas de valor, es una necesidad.

LISTA DE REFERENCIAS

Andrade, C. C., L. E. Pasin, C. Ottoboni & A. A. Costa Mineiro (2016). "Análise do capital institucional na incubadora de empresas de base tecnológica: um estudo de caso no município de Itajubá–MG." *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace 7*(1).

Glaz, J. (2015). *Vicepresidente Glas inauguró la plataforma tecnológica Banco de Ideas.*

Guerra Triviño, O. L. (2015). "Incubadora de empresas: vía para el emprendimiento en las universidades." *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos 7*: 5.

Gutiérrez, R. I. A., R. G. Sousa, A. H. Sorzano & R. D. Alemán (2015). "Indicadores ambientales en comunidades kichwa amazónicas ecuatorianas para elaborar una estrategia de desarrollo sostenible." *Centro Agrícola 42*(2): 71-78.

Ibars Hernández, S. M., E. E. Corona Mayoral , P. G. Trujillo Castro & B. E. Zazueta Villavicencio (2016). Necesidades de capacitación de los empresarios-emprendedores. G*lobal Conference on Business & Finance Proceedings, Institute for Business & Finance Research.*

Kantis, H., J. Federico & S. Ibarra García (2016). Condiciones Sistémicas para el Emprendimiento Dinámico. Novedades y tendencias para fortalecer e integrar los ecosistemas de la región. (http://www.ungs.edu.ar/icsedprodem/).

Lagunes, S., Herrera, Sa Martín & Gonzáles (2014). "Innovación y emprendimiento a la luz del contexto latinoamericano, Guía de mejores prácticas para el impulso de la actividad emprendedora basada en la innovación." *Red latinoamericana de Innovación y Emprendimiento:* 188.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Leiva, J. C., R. M. González & C. M. Sandoval (2016). "Empresas incubadas por el Centro de Incubación de Empresas del TEC: un análisis cualitativo." *Investiga. TEC*(26): 2.

Mittermeier, R. A. (1997). *Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations*, Agrupacion Sierra Madre.

Neill, D. A. (2012). "¿Cuantas especies nativas de plantas vasculares hay en Ecuador?" *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología 1*(1): 70-83.

Oppenheimer, A. (2013). *La próxima Revolución Industrial*, Periódico la Nación.

Oyarvide Ramírez, H. P., B. A. Abata de la Cruz, M. d. C. Franco Rodríguez & S. Rodríguez Rodríguez (2016). "El Centro de Desarrollo Empresarial y Apoyo al Emprendimiento como una estrategia para mejorar la competitividad de los emprendimientos en la provincia Esmeraldas, Ecuador." *Investigación y Saberes 5*(1): 42-50.

Perdomo Charry, G., J. E. Arias Pérez & N. E. Lozada (2016). "A comparative analysis for the business incubators institutional & organizational change." *Semestre Económico 19*(39): 131-153.

Perdomo, P. E. Á., M. A. A. Alcívar, J. X. B. Salvatierra, M. E. R. Martínez & J. L. G. Vilcacundo (2017). "La innovación y el emprendimiento: necesidades en la Educación Superior." *Revista Didasc@ lia: Didáctica y Educación. 7*(4): 229-246.

Quiroz Carvajal, J., G. Perdomo Charry & J. Arias Pérez (2016). "Diseño del modelo de negocio de una empresa intensiva en conocimiento desde la perspectiva de los modelos de cambio." *Revista Republicana 20*(20).

Regalado, E. C., A. M. R. Reynoso, M. Z. López & P. D. Gómez (2016). "Las incubadoras de negocios: un modelo económico que ayuda y orienta proyectos empresariales." *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa.*

Ridgely, R. S. & P. J. Greenfield (2001). The birds of Ecuador: status, distribution, & taxonomy, Cornell University Press.

Sablón Cossio, N., J. A. Acevedo Suárez, R. Jorge, A. Medina León, M. Pérez Quintana & H. Bautista Santos (2016). "Modelo de Planificación Estratégico de cadenas de suministro. ." Dyna Management.

Sablón Cossio, N., M. Radice, M. Luna Murillo & N. Manjarrez Fuentes (2016). "Biocomercio y Biodiversidad en el Ecuador ?Cuáles Oportunidades?" *Revista Científica ECOCIENCIA 3*(5).

Schwab, K. (2015). *World Economic Forum. The Global Competitiveness Report*, World Economic Forum.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

CLASIFICADOR DE CARNE DE RES USANDO REDES NEURONALES

Cesar Augusto Vega Fernández[1]
María Xóchitl Altamirano Herrera[2]
Rogelio García Rodríguez[3]
Manuel Hernández Hernández[4]
Claudio Vite Cristóbal[5]

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea tener un sistema de clasificación de carne de res, mediante un método inteligente de Redes Neuronales Artificiales (RNA) que permita clasificar basado en la normatividad mexicana NMX-FF-078-SCFI-2002, además de tomar en cuenta múltiples factores geográficos y de las características de las reses. La RNA usada se basa en el modelo de Perceptrón Multicapa y busca acercarse a exactitud de los métodos utilizados por los expertos. Esta red se entrenó con datos obtenidos de 673 animales, por lo que las características dadas para el entrenamiento se obtienen de cortes en la carne de diferentes partes de la res, los cuales, dado el método aplicado de normalización a estos datos, se escogieron los más relevantes por lo cual se obtuvo así una Red Neuronal Artificial con un 98.66% de exactitud, valor obtenido al comparar con la opinión de los expertos.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda de carne de res, es uno de los más apetecidos en la industria Comercial Mexicana tanto así que ha tenido un crecimiento del 89.5% (JALISCO, 2012) en los últimos años, lo que a su vez genera que organizaciones en esta industria busquen ofrecer un producto de mejor calidad, con mejores procesos pero que no les genere mayores costos, con el objetivo de mejorar sus ganancias.

Dada la diversidad de zonas ganaderas que se encuentran en México, se propone establecer un programa clasificador de las características del terreno, de la res y su carne, basado en la normatividad Mexicana estipuladas en el artículo NMX-FF-078-SCFI-2002. Esta norma tiene cobertura nacional y se aplica en las plantas de sacrificio y rastros TIF (Tipo Inspección Federal) registrados por SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación) que operan bajo condiciones de sanidad e higiene establecidas en la norma oficial mexicana NOM-08-ZOO-1998.

El clasificador está basado en Redes Neuronales Artificiales según el modelo neuronal llamado "Perceptrón"; el cual aprueba que se tenga un sistema más rápido, efectivo y de calidad, permitiendo así obtener mayor precisión para el beneficio comercial de una zona ganadera.

La clasificación de las carnes de Res es útil para aquellas entidades que se ocupan de la compra, venta, distribución y control sanitario de los productos cárnicos en el país (Fornias & Díaz, 1998). En la mayoría de países, así como en México, esta clasificación la hace un inspector entrenado quien utiliza planillas para determinar factores importantes como el color de la grasa y de la carne, de igual forma medir el área del músculo *longissimus dorsi o ribeye*, el espesor dorsal y finalmente la madurez o edad del animal, con estas características el especialista logra una calificación de calidad.

[1] Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia, cesar.vega-f@mail.escuelaing.edu.co
[2] Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México, xochitl2422@gmail.com
[3] Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México, rgarciardz@gmail.com
[4] Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México, iscmhernandez@gmail.com
[5] Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México, cvitec81@hotmail.com

ISBN: 978-958-5430-49-5

2. ANTECEDENTES

Con el paso del tiempo, las empresas ganaderas mexicanas han desarrollado nuevas tecnologías y procesos internos con el fin de clasificar la carne de manera eficiente y eficaz, este proceso siempre ha estado bajo la supervisión de un experto entrenado, y con amplio conocimiento en la norma NMX-FF-078-SCFI-2002.

Esta norma surgió con la necesidad de proteger al pequeño y mediano productor de carne en los ranchos, dado esto por la caída del precio del ganado en pie y la disminución de la demanda de carne, generando cartera vencida del sistema bancario nacional, dada la falta de pagos (Chauvet, 1997).

En esta industria y para el consumidor uno de los factores más importantes en la compra de la carne es la terneza, este factor es uno de los más difíciles de calcular por su cierta proporción de origen genético. Por lo anterior, la búsqueda de especímenes o razas que potencialicen la producción de carne más tierna es muy importante y es un área de investigación en constante avance explica (Soria & Corva, 2004). En la búsqueda de estas razas existe un alto grado de exposición a infecciones, los cuales se pueden considerar como un alimento de riesgo potencial (Lora et al., 2007).

Una de las principales ventajas tecnológicas en la clasificación de la carne es la implementación de Redes Neuronales Artificiales con su capacidad para generalizar, en este escenario las acciones automáticas deben ser vigiladas y solo actuar dado el desempeño óptimo de la RNA (Henríquez & Palma, 2011). Por otra parte, las RNA de Kohonen son buenas herramientas para hacer comparaciones sensoriales (Almeida, Alves, Farias, & Curvelo Santana, 2012), del mismo modo existen varios algoritmos que ayudan a una buena clasificación de la carne.

Con el avance del tiempo la arquitectura de RNA en el Perceptrón multicapa con retro propagación utilizado en este estudio, frente a otras técnicas de Inteligencia Artificial (IA) o métodos estadísticos, reduce la base de datos y sus combinatorias de un tamaño de varios megabytes a tan solo unos kilobytes en archivos de entrenamiento compuestos por los pesos de las RNA, lo cual se presenta una ventaja al momento de utilizar este esquema en computadoras promedio e incluso en dispositivos móviles (Henríquez & Palma, 2011)

La RNA Perceptrón es capaz de detectar y clasificar de manera correcta el comportamiento de una serie de datos, con algún tipo de relación entre ellos, nivelando diversas magnitudes para "predecir" su conducta (Rosas, López, Ripalda, González & Juárez, 2016).

3. ANÁLISIS Y DESARROLLO

Dada las tipologías de la carne y factores que afectan al animal, se escogió un método de selección de datos. Seguido de esto, se procedió al análisis y selección de la regla de aprendizaje que más se adapta a los datos.

3.1. Descripción capa de entrada RNA

La RNA cuenta con 15 datos de entrada con carácter numérico, los cuales explicaremos a continuación:

- **Localidad:** Refiere a la zona geográfica de procedencia de la res, son 4 localidades mexicanas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Representación numérica de Localidad

LOCALIDAD	REPREC. NUMÉRICA
Platón	1
Tempoal	2
Tantoyuca	3
El Higo	4

ISBN: 978-958-5430-49-5

- ***Grupo racial*:** Refiere al grupo racial o cruzamiento al que pertenece la res (ver Tabla 2).

Tabla 2. Representación numérica del Grupo Racial

GRUPO RACIAL	REPREC. NUMÉRICA
Cebú	1
Cebú-suizo	2
Suizo	3
Holstein	4

- **Tipo***:* Simplifica si es hembra o macho, dado por su nombre en el medio (ver Tabla 3).

Tabla 3. Representación numérica del tipo de animal

TIPO	REPREC. NUMÉRICA
Novilla	1
Vaca	2
Torete	3

- **Sistema**: Refiere al sistema de alimentación con el que fue criado la res (ver Tabla 4).

Tabla 4. Representación numérica del sistema de pastoreo

SISTEMA	REPREC. NUMÉRICA
Alim por concentrado	1
Alim por pastoreo	2

- **Edad:** Edad a la que fue sacrificado el animal.
- **KPV:** Kilogramo (Kg) por peso vivo de carne.

Los siguientes cinco (5) datos se miden según su calidad establecida por expertos previamente (ver Tabla 5).

Tabla 5. Representación numérica de calidades

CALIDAD	REPREC. NUMÉRICA
Superior	1
Seleccionada	2
Estándar	3
Comercial	4

- **Conformación de la canal:** Referencia al grosor de los músculos, grado de plenitud, espesor y partes del canal.
- **Distribución de grasa subcutánea:** La grasa de cobertura se valora a nivel del ojo de la costilla.
- **Cobertura de grasa perirrenal:** Referencia del grado de cobertura grasa de los riñones del animal.
- **Color de la grasa:** Esta dada según el color de la grasa, entre más blanca tendrá una calidad superior.
- **Color de la carne:** Esta dada por el color de la carne, si éste es rojo cerezo, se evaluará con mejor calidad.
- **Peso Canal Frio Derecho:** En este campo se ingresa el peso del canal frío derecho de la carne en Kilogramos.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- **Peso Canal Frio Izquierdo:** En este campo se ingresa el peso del canal frío izquierdo de la carne (*Kg*).
- **Ojo de chuleta:** En este campo si ingresa el área del ojo de la chuleta la medida utilizada es cm^2.
- **Grosor de grasa dorsal:** En este campo se ingresa el grosor de la grasa dorsal y la medida se da en *ml*.

3.2. Arquitectura de la RNA

La RNA como podemos ver en la Figura 1 cuenta con 15 neuronas de entrada, figuradas con la letra x_i, cuatro (4) de capa oculta y cuatro (4) neuronas de salida que describen las posibles calidades (ver tabla 6).

Tabla 6. Representación de Salida

CALIDAD	REPRESENTACIÓN
Superior	{0,0,0,1}
Seleccionada	{0,0,1,0}
Estándar	{0,1,0,0}
Comercial	{1,0,0,0}

En la Figura 1, se visualizan identificadas con: y_1, y_2, y_3, y_4 respectivamente.

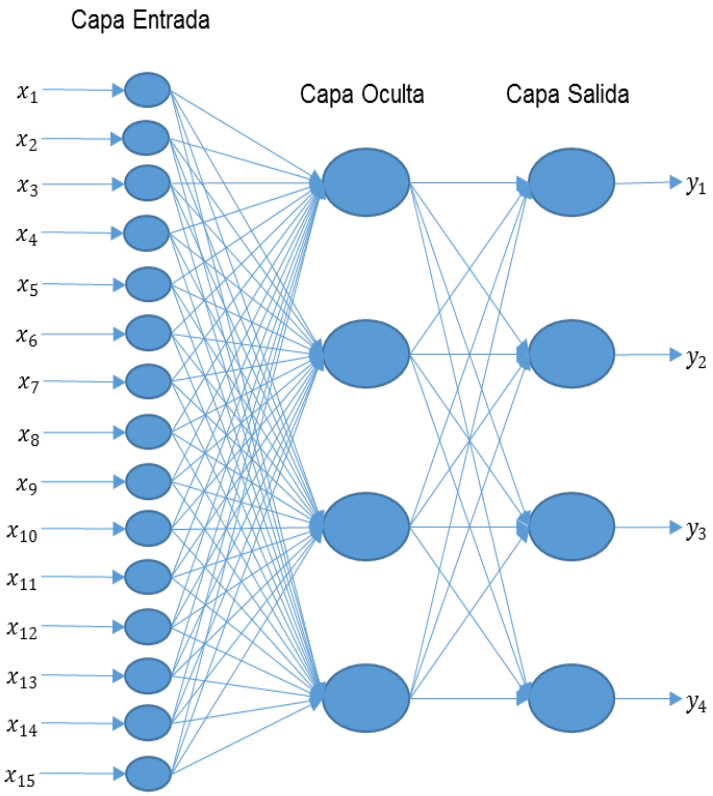


Figura 1. Estructura de la Red Neuronal Artificial Perceptrón Multicapa

3.3. Normalización y selección de datos

Con el fin de obtener los datos más relevantes para ser usados en la fase de entrenamiento de la RNA, se realizó el proceso de normalización y selección de datos. En el procedimiento de normalización, por cada uno de los datos mencionados anteriormente, se halla el valor mínimo y máximo del conjunto al que pertenece, con el fin de hallar un equivalente entre 0 y 1 respectivamente, para esto se sigue esta ecuación.

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$f(x) = \frac{x - Vmin}{Vmax - Vmin}$$

Ecuación 1. Normalización de datos independientes

En la ecuación 1 podemos observar, donde x es el valor del rasgo de la res, y el valor máximo y mínimo se representa con *Vmax* y *Vmin* respectivamente.

Dada la ecuación 2, se halla un valor representativo del conjunto de datos de cada res, donde el parámetro C_i es el valor numérico de la capa de entrada.

$$N = \sqrt{\sum_{i=1}^{15} f(C_i)^2}$$

Ecuación 2. Norma del conjunto de datos del animal

Continuando con la selección, con el valor de N de cada conjunto de datos de las reses, se agrupan por conjuntos con rangos de 0.2, es decir, los valores normalizados entre 0 y 1 se clasifican en conjuntos entre {[0, 0.2], (0.2, 0.4], (0.4, 0.6], (0.6, 0.8], (0.8, 1]}. Para obtener datos de diferentes valores, evitar entrenar la RNA con valores iguales y garantizar una mayor exactitud, el algoritmo selecciona el mismo número de datos en cada uno de estos conjuntos, si son de diferentes tamaños selecciona el mismo número de los conjuntos y completa el porcentaje de entrenamiento con los conjuntos que aun tengan datos.

3.4. Regla de aprendizaje

A continuación en la figura 2, podemos observar la representación de los datos normalizados.

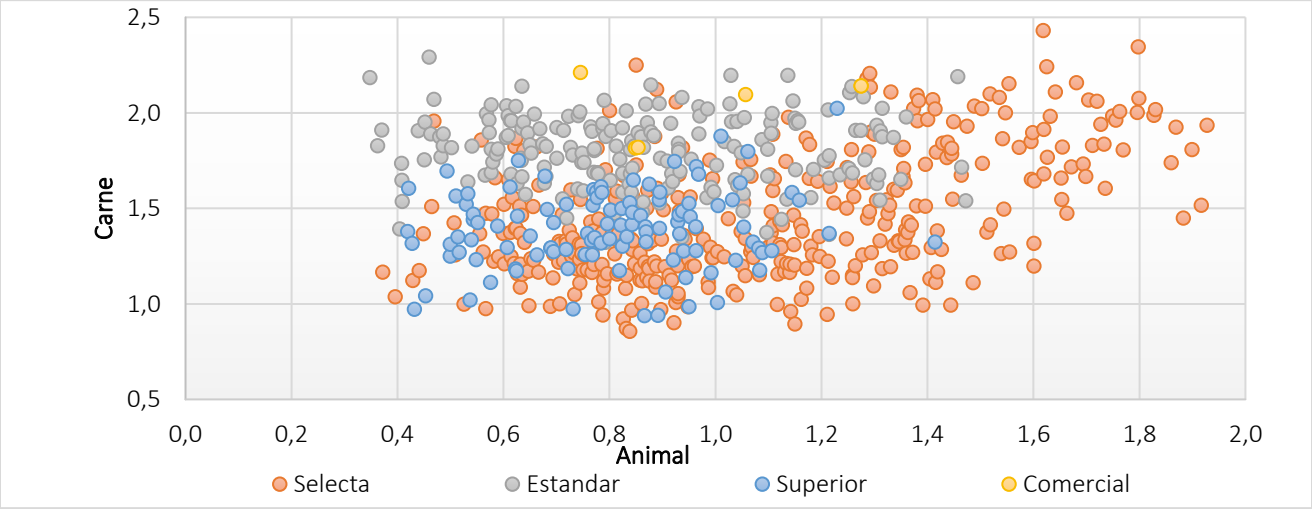


Figura 2. Relación de características: Animal-Carne

En la figura anterior, podemos observar la distribución del conjunto de datos relacionando las características de la res y de la carne. La regla de aprendizaje usada fue *Sigmoide,* matemáticamente se representa así:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

Ecuación 3. Ecuación de la función Sigmoide

Esta función tiene un rango 0–1 en el eje y, por lo cual potencializa la normalización realizada anteriormente. En la siguiente figura 3, podemos observar su comportamiento en los ejes X, Y.

ISBN: 978-958-5430-49-5

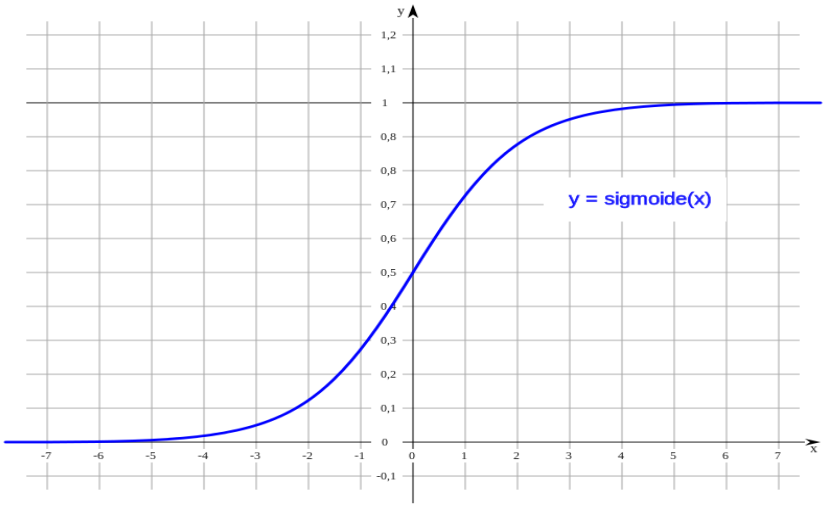


Figura 3. Función Sigmoide

4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

El programa que se usó en el entrenamiento de la RNA fue realizado en lenguaje de programación JAVA, utilizando las librerías NEUROPH especializadas para el manejo de RNA incluso cuenta con su propio API.

4.1. Plan de experimentos

Una vez establecido el conjunto de datos normalizados, el programa prueba varias combinaciones entre el porcentaje de entrenamiento y el número de neuronas en capa oculta; escogiendo un valor para el porcentaje de entrenamiento entre un 50 – 80 %, esto se debe a la cantidad de datos; la variable que modifica el número de neuronas en la capa oculta se establece entre 4–20 neuronas y por último el número de repeticiones se establece entre 1–10 veces, cada una de estas configuraciones se probaba con diferentes reglas de aprendizaje y se verificaba su efectividad.

4.2. Comparativa de entrenamientos

La comparación de datos que veremos a continuación en la Tabla 7, se recreó con un número de 4 neuronas, dado que durante todo el proceso de entrenamiento fue la configuración con mayor efectividad.

Tabla 7. Comparativa por cada uno de los casos y reglas de aprendizaje

PCT. ENTRENAMIENTO	NÚM. INTENTO	FUNCIÓN	PCT. EFICIENCIA
50	1	TANH	64,095
		SIGMOID	94,659
55	2	TANH	85,526
		SIGMOID	90,789
60	4	TANH	67,279
		SIGMOID	90,441
65	3	TANH	69,328
		SIGMOID	91,176

Como observamos en la Tabla 7 el valor de exactitud de la RNA con la regla SIGMOID se mantuvo sobre el 90%, el número en la columna de intento fue donde se obtuvo la mejor configuración de prueba.

ISBN: 978-958-5430-49-5

4.3. Configuración final del clasificador

Finalmente, el programa encontró una configuración para la RNA final mostrada en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Información final de la RNA

Porcentaje de efectividad	**98,66%**
Función de transferencia	TransferFunctionType. SIGMOID
Núm. de datos de entrada	15
Núm. de datos de salida	4
Núm. de neuronas en la capa oculta	4

4.4. Comparación de resultados

La comparación de resultados (ver figura 4) se realizó entre el resultado suministrado por expertos (Etiqueta Calidades Suministradas), y los resultados obtenidos por la RNA (Etiqueta Calidades Generadas). Para este grupo de datos que se evaluaron tenemos un 1.34 % de error en general, al igual podemos observar la exactitud del 100% en la calidad Superior, calidad Selecta con un 99%, calidad Estándar obtuvo un error del 4%, en cuanto a la calidad Comercial se obtuvo un 0 % de exactitud, esto se debe a la cantidad de datos obtenidos de esta calidad y por ultimo un conjunto de datos el cual la Red Neuronal Artificial clasificó de forma errónea.

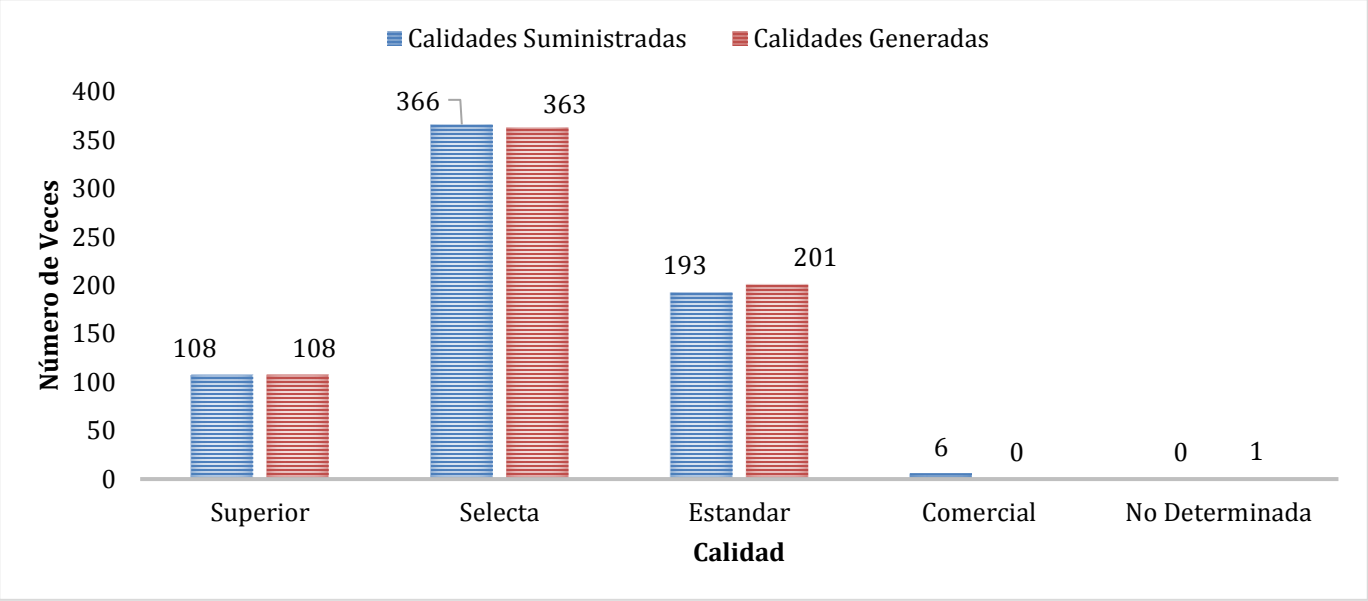


Figura 4. Comparativa de resultados de la RNA

5. CONCLUSIONES

Por medio de esta investigación, se estableció otro uso para las Redes Neuronales Artificiales con el cual se puede beneficiar el sector ganadero no solo de México, sino que también el de diferentes países, con una normativa similar.

La Red Neuronal Artificial Perceptrón Multicapa como la que se utilizó en esta investigación es capaz de detectar y clasificar de manera correcta el patrón de clasificación de la carne de una res de un conjunto de datos previamente evaluados por expertos, demostrando así su capacidad de predicción.

ISBN: 978-958-5430-49-5

LISTA DE REFERENCIAS

Almeida, P. F., Alves, W. L., Farias, T. B. & Curvelo Santana, J. C. (2012). Elaboración y Clasificación Sensorial de Gelatinas de Patas de Pollos: Correlación usando Redes Neuronales Artificiales. I*nformación tecnológica, 23*(6), 129-136. doi:https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000600014

Chauvet, M. (1997). La Ganadería Mexicana frente al fin de siglo. Guadalajara, México: Departamento de Sociología Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

Fornias, O. V., & Díaz, C. V. (7 de Octubre de 1998). Clasificación de los productos cárnicos. Cubana Aliment Nutr, 18(1), 63-7.

Gallo, C., Caro, M., Villarroel, C. & Araya, P. (1999). Características de los bovinos faenados en la Xa Región (Chile) según las pautas indicadas en las normas oficiales de clasificación y tipificación. . *Archivos de medicina veterinaria, 31*(1), 81-88. doi:https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X1999000100008

Henríquez, M. R. & Palma, P. A. (2011). Control Automático de Condiciones Ambientales en Domótica usando Redes Neuronales Artificiales. *Información tecnológica, 22*(3), 125-139. doi:https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000300014

JALISCO, U. D. (2012). *Aumentó 89.5% el consumo de carne por persona en Jalisco.* San Pedro Tlaquepaque: Gobierno Federal.

Lora, F., Aricapa, H. J., Pérez, J. E., Arias, L. E., Idarraga, S. E., Mier, D. & Gómez, J. E. (2007). Detección de Toxoplasma gondii en carnes de consumo humano por la técnica de reacción en cadena de la polimerasa en tres ciudades del eje cafetero. *Infectio, 11*(3), 117-123.

Rosas, P. G., López, J. V., Ripalda, M. H., González, S. H. & Juárez, I. L. (2016). Uso de la red neuronal Perceptrón para detección de cambios pequeños en la media en los gráficos de control. *10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* (págs. 1-10). Panama City: 1 st LACCEI International Symposium on Software Architecture and Patterns.

Soria, L. A., & Corva, P. M. (Mayo-Agosto de 2004). Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 12*(2), 73-88.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN PARA UN PROCESO DE CORTE CON PLASMA A TRAVÉS DE DISEÑO EXPERIMENTAL

Guillermo Alberto Camacho-Muñoz [1]
Heriberto Alexander Felizzola Jiménez[2]
Miguel Omar Ríos Cabra[3]
Jhon Alexander Parra Jiménez[4]
David Álvarez-Martínez[5]

RESUMEN

El corte con plasma es una operación que presenta beneficios respecto a otras alternativas, en cuanto a relación velocidad, precisión y costos. La calidad del acabado superficial y la precisión dimensional de algunos materiales son afectados por parámetros seleccionados para el corte, por lo que, este estudio busca determinar parámetros óptimos, que minimicen el error dimensional de las piezas cortadas y reduzcan los defectos superficiales creados después de la operación de corte. Para este fin se diseñó un experimento factorial 25-1 y se generó un modelo de regresión para predecir el comportamiento de las variables que influyen en el proceso de corte con plasma. El proceso se realiza con una máquina de corte en dos ejes y el material utilizado es acero laminado en frío calibre 18. En este proceso se analizan cinco factores: velocidad de corte, intensidad del arco de corriente, presión del gas-plasma, distancia entre boquilla y pieza, y método de cortado. La metodología se compone de tres fases: planeación del corte y construcción del modelo conceptual, ejecución del experimento, análisis y optimización. Se consideraron dos variables de respuesta: la exactitud y la precisión, ambas medidas en función del ancho y largo de la pieza. Para el largo, cuatro factores de los mencionados tuvieron influencia significativa en la exactitud, mientras que en la precisión la velocidad y el método de corte son los que más influyen. En el ancho, la velocidad y el método de corte influyen significativamente en la exactitud, mientras que en la precisión todos los factores, excepto la presión generaron un efecto significativo sobre esta característica.

1. INTRODUCCIÓN

El corte es un proceso en el que el material es llevado a una geometría específica, mediante remoción de excesos de material, hasta la obtención de una parte terminada que cumpla un conjunto de especificaciones. En el caso de los metales, existen diferentes métodos de corte que pueden ser clasificados por el fenómeno físico utilizado. En este trabajo se aborda un proceso de corte por calor, específicamente el corte por plasma. Este es un proceso térmico que se obtiene al calentar a altas temperaturas una sustancia gaseosa con el fin de fundir y así separar el material que se esté cortando (Air Products, 1999). La principal ventaja del corte por plasma es la reducción del tiempo de operación en tareas de gran dimensión, además de la flexibilidad en la generación de patrones de corte con geometrías irregulares (Calupiña & Oña, 2013).

En la actualidad, es común encontrar defectos en piezas metálicas cortadas con técnicas manuales, en especial en piezas de bajo calibre. Por esta razón, cada vez es más frecuente el uso de técnicas automáticas, para favorecer la precisión en los procesos de corte y rebanado (Artiga et al., 2013). En este contexto, es importante conocer con precisión la mejor configuración de parámetros posible, para realizar el proceso con

[1] Universidad de la Salle, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, gacamacho@unisalle.edu.co
[2] Universidad de la Salle, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, healfelizzola@unisalle.edu.co
[3] Universidad de la Salle, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, mrios39@unisalle.edu.co
[4] Universidad de la Salle, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, jparra55@unisalle.edu.co
[5] Universidad de los Andes, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, d.alvarezm@uniandes.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

la mayor exactitud, con el fin de reducir el desperdicio, lo que minimiza los costos asociados a reprocesos o sobrecostos por reposición de material que no fue proyectado.

Es por ello que el presente estudio calcula las condiciones óptimas de operación en un proceso automatizado de corte con plasma. Se definieron cinco (5) factores que suponían influencia significativa en la exactitud del corte, y se variaron en dos niveles. Todo esto para generar un diseño factorial 25-1. La intención de comprobar y optimizar el proceso por medio de un diseño experimental, es demostrar que existen relaciones estadísticamente fuertes, que permiten disminuir significativamente el error durante el proceso, maximizando el uso del material disponible para el mismo (Pérez *et al.*, 2009). También la contribución del presente trabajo, se enmarca, en la necesidad de establecer parámetros confiables que demarquen una mayor precisión en la elección del material, y el arco eléctrico necesario para realizar el corte que prevenga las pérdidas económicas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Planeación del corte y construcción del modelo conceptual

En primera instancia, se realizó una revisión de los manuales de la maquinaria y de los materiales, para obtener indicios acerca de los factores a evaluar en el experimento; a la par de esto también se revisaron distintos cortes que ya se habían realizado con la máquina, donde se definió que el material a cortar durante el estudio sería el acero laminado calibre 18. Posterior a ello, se definió el tamaño de cada una de las piezas a cortar, donde cada pieza tenía en su configuración 40 mm de largo x 30 mm de ancho. Este patrón de corte se configuró, de la siguiente manera.

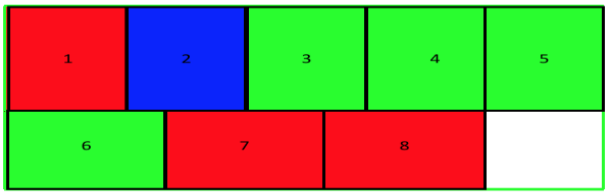


Figura 1. Patrón de corte

En seguida, se definió el enfoque sistémico del experimento a realizar. Dicho enfoque se presenta en la Figura 2. Donde los factores controlables que se encuentran resaltados, son los factores con los cuales se decidió experimentar y para los que se definieron los niveles, además de ello también se detallan las variables de respuesta del experimento.

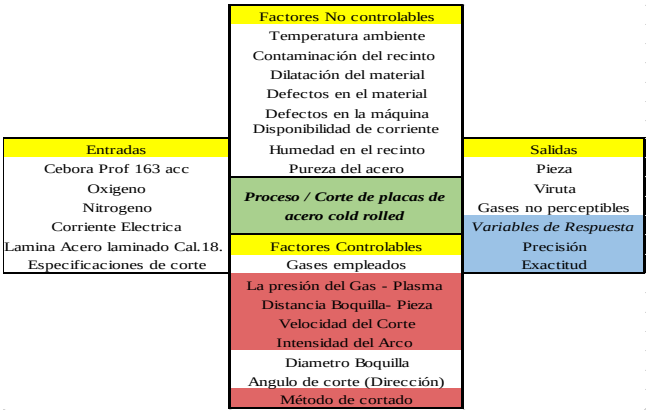


Figura 2. Enfoque sistémico del experimento

La tercera fase consistió en la planeación del experimento, donde se definió el diseño experimental a utilizar, así como la manera de analizar los datos obtenidos a partir de dicho diseño. A partir de lo hallado en las fases previas, el grupo de investigadores decidió, utilizar un diseño 25-1 sin replicas, ya que permitía obtener información suficiente del efecto de los factores en el proceso a un costo razonable. En la tabla 1 se presenta el diseño experimental, con sus corridas aleatorizadas.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 1. Diseño del experimento

Presión (PSI)	Distancia Boquilla - Mat (mm)	Velocidad (mm/s)	Intensidad Corriente (Amp)	Método
Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	Factor E
45	2	66	50	Método 2
45	2	133	50	Método 1
45	4	133	50	Método 2
39	2	133	40	Método 1
45	4	133	40	Método 1
39	2	66	50	Método 1
39	4	66	50	Método 2
45	4	66	50	Método 1
45	4	66	40	Método 2
39	2	133	50	Método 2
39	4	133	50	Método 1
45	2	66	40	Método 1
45	2	133	40	Método 2
39	4	133	40	Método 2
39	2	66	40	Método 2
39	4	66	40	Método 1

2.2. Ejecución del experimento

Después de la definición del diseño, se procedió a ejecutar cada uno de los tratamientos y a la recopilación de los datos asociados a cada tratamiento, teniendo cuidado en bloquear aquellos factores controlables con los que se decidió no experimentar, así como de ejecutar el experimento con condiciones no controlables similares.

2.3. Análisis y optimización

En la tercera fase del estudio, se realizó el análisis de todo lo encontrado en la fase anterior, dicho análisis se encuentra contenido en la sección de resultados, con las respectivas conclusiones halladas para cada variable de respuesta.

3. RESULTADOS

Se decidió medir dos variables de respuesta, tanto para el ancho y largo de las piezas expuestas en la Figura 1. Estas fueron la exactitud y precisión del corte, ambas expresadas porcentualmente. Además, con el fin de encontrar errores puntuales en la calidad del corte, las mediciones se realizaron en tres ubicaciones de cada pieza. Con esta información se pudo definir el grado de influencia de los factores en cada respuesta, con ayuda del diseño experimental elegido.

3.1. Exactitud de la medida del largo

La exactitud es una variable sensible que debe ser examinada con detenimiento, por esto se hizo hincapié en medir y controlar adecuadamente los factores que fueron elegidos. Luego de la experimentación se pudo establecer que la mayoría de los factores elegidos generaban cambio significativo en la variable de respuesta, pues el método de cortado no influía significativamente en la exactitud del proceso. En la Figura 3, se puede observar que además existen interacciones importantes entre la presión y la distancia de la boquilla a la pieza, la presión y la velocidad de corte y también se puede afirmar que la presión interactúa con la intensidad del arco de corriente, de igual manera la distancia de la boquilla a la pieza también interactúa con la velocidad del corte.

Finalmente, se generó un modelo de regresión de primer orden que describiera el comportamiento del sistema en condiciones normales o estables. Dicho modelo se muestra a continuación en la ecuación 1.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Exactitud Largo = 3.117 - 0.04816 A - 0.4841 B - 0.01612 C - 0.04397 D + 0.01018 AB + 0.000342 AC + 0.000969 AD + 0.002327 BC + 0.008919 BD + 0.000294 CD - 0.000035 ABC - 0.000180 ABD - 0.000006 ACD - 0.000021 BCD

Ecuación 1. Modelo de regresión de primer orden para la exactitud ancho

El presente modelo presenta un coeficiente R^2 del 99,92%, y un coeficiente R^2 predictivo del 79,47%, lo cual indica que la capacidad del modelo de predecir el comportamiento del sistema es aceptable pues los niveles de variación de la exactitud se miden en el orden de una (1) milésima de punto porcentual, lo que hace sensible la medición y afecta considerablemente la relación posible entre las X. La configuración que mejor se comporta contempla la velocidad en 133 mm/s, 4mm de distancia de la boquilla a la pieza, 45 PSI de presión y 40 A de arco eléctrico.

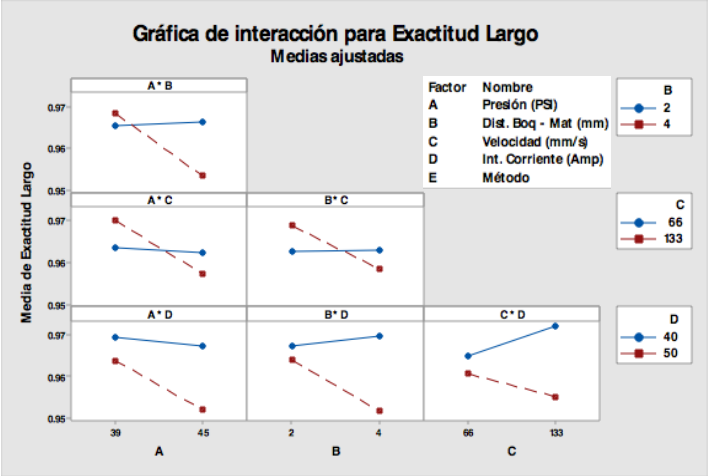


Figura 3. Gráfica de interacción para la exactitud del largo

3.2. Precisión de la medida de largo

Por otro lado, finalizando la fase de experimentación, se decidió calcular la precisión del corte con base en las mediciones tomadas a las platinas; para esto se usó la desviación estándar del promedio de las medidas, tanto para el largo como para el ancho del material. El fin de condensar esta información es encontrar la relación que minimiza la desviación estándar existente que maximiza la precisión entre los cortes.

El análisis del diseño factorial, tal y como se ve en la Figura 4, arrojo que los factores que generan cambio en la precisión fueron la distancia de la boquilla a la pieza, que al mismo tiempo interactuaba con el método de cortado, la velocidad de corte la cual tenía un efecto con pendiente positiva del nivel bajo al nivel alto, e interactuaba con el método de cortado, y por último el método de cortado que al igual que con la exactitud no era significativo desde sus efectos pero la interacción con los otros dos factores lo incluyeron en el modelo.

Finalmente, se generó un modelo de regresión de primer orden que describiera el comportamiento del sistema en condiciones normales o estables. Dicho modelo se muestra a continuación.

Precisión Largo = -0.0786 + 0.0494 B + 0.003881 C - 0.0871 E - 0.000616 BC + 0.0397 BE + 0.000448 CE - 0.000280 BCE

Ecuación 2. Modelo de regresión de primer orden para la precisión en el ancho

Este modelo presenta un coeficiente R2 del 91,55%, y un coeficiente R2 predictivo del 78,23%, aunque la capacidad del modelo es aceptable, es preciso resaltar que la medida de la precisión oscila en valores equivalentes a milésimas de punto porcentual, lo que lo hace altamente sensible al cambio por factores no controlables, y esto afecta la relación entre las variables expuestas en el modelo anterior, por todo esto, la calidad del modelo no es la esperada, pero es aceptable. Por último la configuración que mejor se comporta contempla la velocidad en 66 mm/s, 2 mm de distancia de la boquilla y el método de cortado número 2.

ISBN: 978-958-5430-49-5

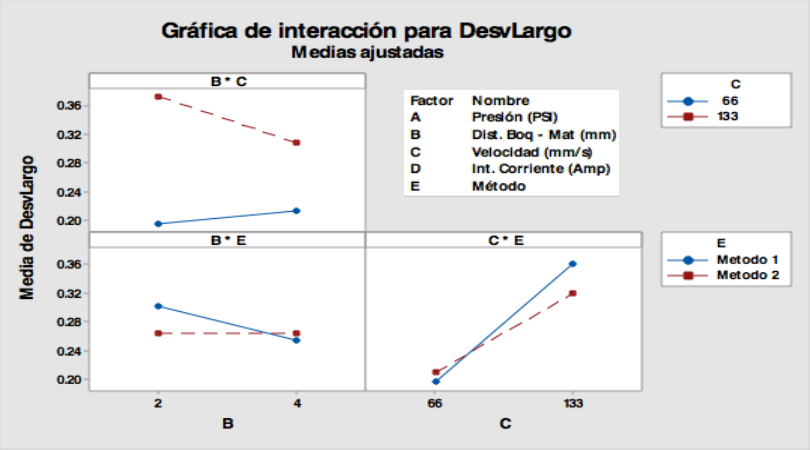


Figura 1. Gráfica de interacción para la precisión del largo

3.3. Exactitud de la medida del ancho

En primera instancia, es imperativo determinar la influencia de los factores en el comportamiento de la variable de respuesta, donde se encontró que el único factor significativo era la velocidad del corte. Por lo cual era posible realizar una depuración del modelo.

Una vez hecho esto, se encontró que todos los términos que finalmente quedaron en el modelo son significativos, aunque unos en mayor medida que otros. Por esto la siguiente ilustración contiene las interacciones de los factores, para apreciar mejor dicha afirmación.

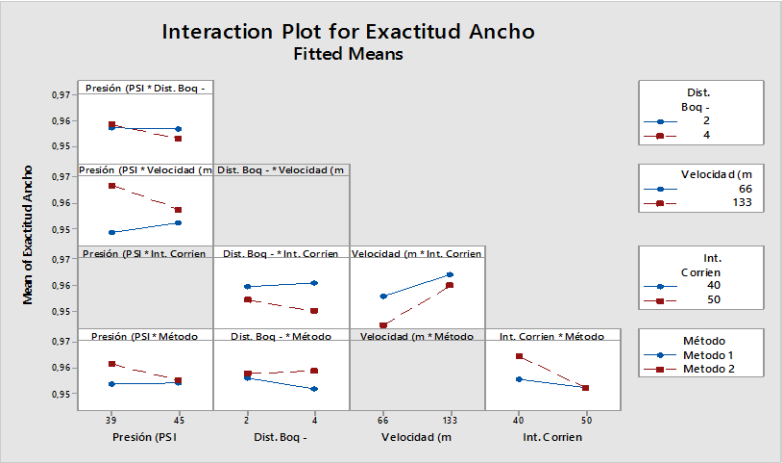


Figura 2. Interacciones principales de los factores controlables

Por la figura 2 se puede concluir que, la interacción más significativa es la que existe entre la presión y la velocidad del corte, así como la interacción que se presenta entre la velocidad de corte con la intensidad de corriente, lo que conlleva a concluir que, el factor que tiene mayor influencia en el comportamiento de la variable de respuesta es la velocidad del corte efectuado. Por lo que, para los resultados esperados, se intuye que entre mayor sea la velocidad mejor será la precisión del corte efectuado. Además de lo anterior también es posible apreciar que la interacción menos significativa en el modelo es la ocasionada por la relación entre la distancia entre el material y la boquilla y el método de corte utilizado.

Finalmente, se generó un modelo de regresión de primer orden que describiera el comportamiento del sistema en condiciones normales o estables. Dicho modelo se muestra a continuación.

Exactitud Ancho = 0,8155 + 0,004059 A + 0,03036 B + 0,001056 C - 0,000997 D + 0,04419 E- 0,000442 AB - 0,000032 AC - 0,000596 AE - 0,000277 BD + 0,001250 BE + 0,000010 CD - 0,000460 DE

Ecuación 3. Modelo de regresión de primer orden para la precisión del ancho

ISBN: 978-958-5430-49-5

Donde dicho modelo presenta un coeficiente R^2 del 99,88%, y un coeficiente R^2 predictivo del 66, 21%, lo cual indica que la capacidad del modelo de predecir el comportamiento del sistema es aceptable. Esta capacidad es de este nivel debido a que los valores en los cuales oscila el sistema no varían demasiado, sin mencionar que todos los factores y términos del modelo son significativos para este. En este caso se obtuvo la mejor respuesta al usar la presión en 39 PSI, con una distancia entre boquilla y pieza de 4 mm, una velocidad de 133 mm/s, una intensidad de 40 amperios y utilizando el método 2 de corte.

3.4. Precisión de la medida del ancho

Al igual que con las demás variables en primer lugar se realizó la depuración del modelo, al eliminar términos no significativos. Por ello a continuación, se muestra la figura con las interacciones de los términos resultantes en el modelo.

En la Figura 6 se aprecia que la mayoría de los factores son significativos en el mismo, en tanto que la presión, no lo es. La interacción más significativa es la que cuenta con la relación de la distancia entre el material y la boquilla y el método de corte utilizado, porque es la que tiene mayor pendiente, aunque la relación entre la presión y el método es la que más reduce el valor de la variable de respuesta. Finalmente el factor más significativo en el modelo es la velocidad del corte.

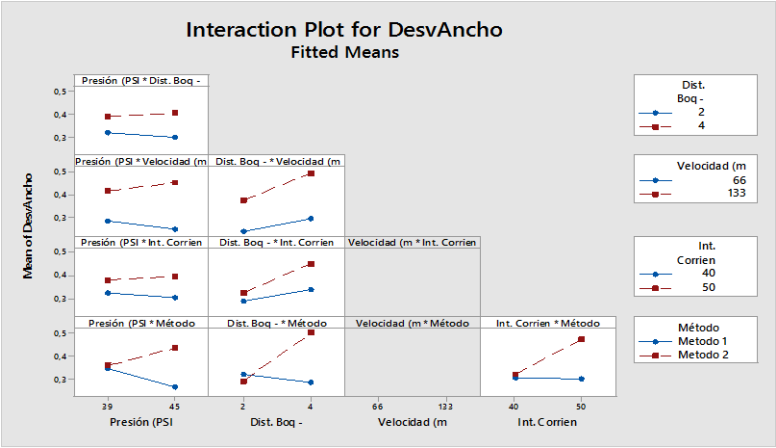


Figura 3. Interacciones principales de los factores controlables del modelo.

Para concluir con el análisis realizado a esta variable, a continuación, se presenta el modelo de regresión de primer orden generado.

Desviación Ancho = 2,699 - 0,0569 A - 0,3114 B - 0,00709 C - 0,0305 D - 1,0444 E + 0,00312 AB + 0,000193 AC + 0,000625 AD + 0,01312 AE + 0,000504 BC + 0,003875 BD + 0,06187 BE + 0,007875 DE

Ecuación 4. Modelo de regresión de primer orden para la precisión del ancho

Donde dicho modelo presenta un coeficiente R2 del 99,86%, y un coeficiente R2 predictivo del 91,11%, lo cual indica que la capacidad del modelo de predecir el comportamiento del sistema es bueno, por lo que las razones para que estas capacidades predictivas sean de esta magnitud, son probablemente las mismas que en el caso de la exactitud del ancho. En este caso se obtuvo la mejor respuesta al usar la presión en 45 PSI, con una distancia entre boquilla y pieza de 4 mm, una velocidad de 66 mm/s, una intensidad de 40 amperios y utilizando el método 1 de corte.

4. CONCLUSIONES

En el largo de la pieza, los niveles bajos de los factores presentaron la mayor incidencia en la maximización de la exactitud, lo que en poco palabras dice, que a menor distancia de la boquilla a la pieza, menor intensidad de corriente, menor presión, menor velocidad, y estableciendo el método que minimice el costo de cortado habrá un mayor exactitud en el corte realizado por plasma.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Con respecto a la precisión, en las medidas realizadas al largo de la pieza, se pudo establecer que con una menor velocidad de corte, el método de cortado 2 y una distancia entre la boquilla y la pieza que no sobrepase los 5 milímetros, se puede realizar un corte con mayor regularidad, que genere un *standard* confiable, todo esto, configurando también la intensidad de corriente y la presión en niveles que minimicen el uso de energía y el costo de operación.

Para las variables de respuesta que tenían relación con el ancho de la pieza, se pudo observar que el factor que más influía en el comportamiento de la variable era la velocidad con la que se realizaba el corte, por ello es importante determinar un nivel de la velocidad que permita cumplir de manera satisfactoria los criterios de optimización de ambas variables de respuesta.

Es importante resaltar, que las condiciones que se determinaron para los parámetros utilizados en el estudio, pueden perder efectividad bajo condiciones distintas de las presentadas en la experimentación, en especial si se prueba para un metal con distinto grosor.

A partir de los resultados de estas variables, es posible detallar que en ambos casos la solución óptima local reside en distintos puntos factoriales, por lo que se debe escoger una de estas dos soluciones, dependiendo de la importancia de cada una de las variables aquí tratadas, para de esta manera acogerse a estos niveles a la hora de la fabricación de las piezas.

LISTA DE REFERENCIAS

Air Products PLC (1999). *Welder´s Handbook For Gas Shielded Arc Welding, Oxy Fuel Cutting & Plasma Cutting.* (3rd Edition). Republic of Ireland.

Artiga, R.W., Bolaños, G.J., Martínez, A., & Reyes, E.G. (2015). Diseño y construcción de un sistema para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado. *Tesis de pregrado,* Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Calupiña, C. & Oña, D. (2012). Mejoramiento de los Parámetros de Trabajo para una Máquina de Corte por Plasma y Oxiacetilénico tipo CNC-4000 Marca Hugong- Welder. *Tesis de pregrado*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Pérez, G., Arango, M. D. & Agudelo Y. (2009). Aplicación de diseño de experimentos para análisis del proceso de doblado. *Revista EIA,* (11), 145-156.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS POTENCIAS DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL CUSUM Y MCUSUM, AL INTERACTUAR CON UN PROCESO SIMULADO

Manuel Campuzano Hernández[1]
Carlos Miguel Rodríguez Moreno[2]
Franklin Junior Choles Mendoza[3]
Andrés Carrión García[4]

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis comparativo entre los gráficos CUSUM y MCUSUM, que permite evaluar cuál de estos resulta ser más eficiente para monitorear las características de calidad de un proceso. Este estudio revela a los diferentes sectores industriales cuál de las dos herramientas es la indicada para un monitoreo más efectivo que les ayude a cumplir con las expectativas y optimizar sus procesos de fabricación.

En el desarrollo de la investigación se plantean tres distintos escenarios de simulación, cada uno de ellos con un nivel de variabilidad diferente, en los que se monitorean las tres principales características de calidad de un proceso, apuntando inicialmente a la caracterización de las cartas CUSUM y MCUSUM bajo parámetros de usos en condiciones específicas con respecto a la detección temprana de corrimientos en la media del proceso, lo que se convierte en parte fundamental dentro de las industrias manufactureras modernas.

1. INTRODUCCIÓN

En el sector industrial es fundamental contar con métodos estadísticos que permitan monitorear de manera eficiente los procesos de producción, particularmente cuando las características de calidad que presenta un producto son variadas y dependen de distintas dimensiones de su estructura físico-química. Los procesos de producción por lo general son monitoreados mediante cartas de control, estas otorgan información gráfica acerca del estado del proceso, analizando la tasa de fabricación de productos no conformes con las especificaciones de calidad, y la variabilidad que presentan dichas características de calidad en un tiempo determinado.

En el presente trabajo se muestra un análisis comparativo entre dos tipos de gráficos de control, el gráfico de control de Sumas Acumuladas (CUSUM, por su sigla en inglés) y el gráfico de Sumas Acumuladas Multivariado (MCUSUM, por su sigla en inglés), para encontrar la herramienta más eficiente en la detección de cambios en la media de un proceso productivo.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de métodos estadísticos para el monitoreo de los procesos productivos, es una actividad que se ha vuelto bastante común en la industria, en la actualidad, la vigilancia de procesos, se encuentra ligada al uso de gráficos de control estadístico, donde se muestra el comportamiento de la fabricación de productos no conformes en el desarrollo del proceso por acción de causas externas de variación, y de forma inherente su eficiencia. Atendiendo la necesidad de información que presenta el gremio empresarial, en cuanto al manejo de gráficos de control de calidad univariados y multivariados, la presente investigación busco profundizar en el manejo de estas herramientas estadísticas, enfocando su interés en la carta de control CUSUM.

[1] Universidad de Valencia, Valencia, España, mjcampuzano@gmail.com
[2] Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia, cmiguelrodriguezm@gmail.com
[3] Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia, franklyncholes@gmail.com
[4] Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain, acarrion@eio.upv.es

ISBN: 978-958-5430-49-5

Actualmente, existe un gran número de gráficos disponibles para el estudio del estado estadístico de un proceso productivo, la discusión respecto a cuál de las diferentes herramientas tiene un mejor desempeño es cada vez mayor, debido a que cada una de ellas tiene un comportamiento diferente en cada campo de aplicación.

Es apreciable la discusión existente acerca del comportamiento de las gráficas de control CUSUM ante diferentes escenarios productivos, por esta razón, la investigación plasmada en este artículo busco realizar una comparación de estas herramientas de tipo univariado y multivariado, manejando como factor determinante eficiencia de las mismas y la capacidad que tienen para detectar cambios en la media de un proceso; esta comparación trae consigo resultados que pueden dar solución a tal discusión.

En este orden de ideas, la investigación responde al interrogante sobre ¿Cuál de los gráficos de control CUSUM o MCUSUM, es más efectiva para detectar una variación en la media, al interactuar con un proceso simulado?

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Gráficos de control CUSUM

El gráfico de control de sumas acumuladas (CUSUM) es particularmente útil en la detección de pequeños cambios (entre 0,5σ y 2,5σ) en el parámetro que se estudia. Para cambios grandes de aproximadamente 2,5σ, las cartas de control de Shewhart son tan buenas o incluso mejores que las CUSUM, siendo más fáciles de entender y usar, ver Figura 1 (Wadsworth *et al.,* 1986).

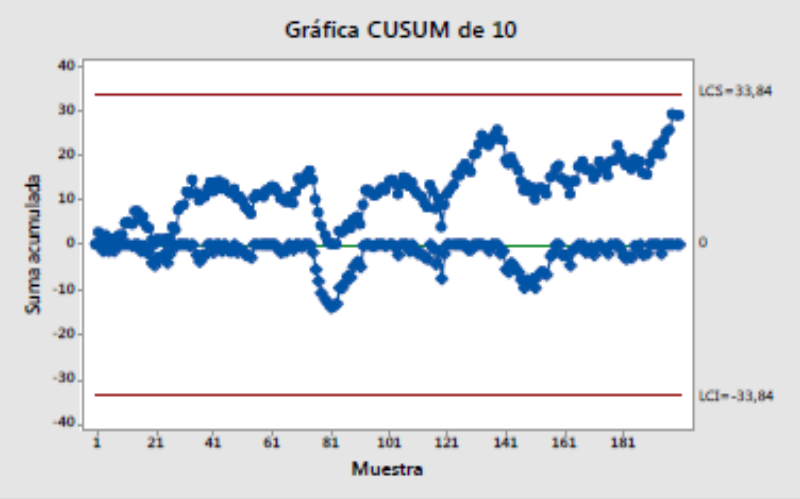


Figura 1. Gráfico de control CUSUM

Un gráfico CUSUM es una representación de las sumas acumuladas de las desviaciones entre cada dato, por ejemplo una media muestral, y un valor de referencia T. Así, este tipo de carta tiene una memoria característica, no encontrada en las cartas de Shewhart, se utilizan generalmente para representar la media muestral, si bien también puede utilizarse para otro tipo de estadístico, como S o P. También se utiliza con frecuencia para gráficos de medidas individuales, particularmente en procesos químicos.

En los gráficos CUSUM lo importante es la pendiente de la línea dibujada, en tanto que para los gráficos precedentes lo importante es la distancia entre la línea dibujada y la línea central. Este tipo de gráficos se interpretan comparando los puntos dibujados con los límites críticos. Sin embargo, los límites críticos para un límite de control CUSUM no son ni fijos ni paralelos.

Una máscara en forma de V se construye frecuentemente. Se deja sobre el gráfico con su origen sobre el último punto dibujado. Si alguno de los puntos previamente dibujados es descubierto por la máscara, es una indicación de que el proceso ha cambiado (Ewan, 1963).

ISBN: 978-958-5430-49-5

3.2. Gráficos de control MCUSUM

El gráfico de control MCUSUM es la extensión multivariada del gráfico de control CUSUM, este se centra en la mejora de la sensibilidad con respecto al gráfico T2 mediante la detección de pequeños cambios en el proceso y se basa en el principio de acumulación de información de antiguas observaciones. Así como el gráfico MEWMA, MCUSUM es un diagrama de Fase II (Santos, 2012); existen cuatro alternativas principales aceptadas para construir un gráfico de control MCUSUM que están expuestas a continuación:

- Woodall & Neube (1985), propusieron el seguimiento individual del vector medio a través de la utilización de cartas de control CUSUM, de forma análoga, se construye una gráfica CUSUM para cada uno de los posibles lados donde se pueda presentar el corrimiento de la media.
- Healy (1987), sugirió un procedimiento para detectar cambios en la media sobre la base de la combinación lineal de variables.
- Báculo (1988) presentó dos procedimientos multivariados. Sin embargo, el más reconocido de estos es aquel que maneja solo un límite de control y que se fija dependiendo del nivel de corrimiento que se desee detectar en el monitoreo.
- Finalmente Pignatiello & Runger (1990), propusieron asimismo dos gráficos MCUSUM, estos basaron su estudio teniendo en cuenta el comportamiento de las variables y sus respectivas varianzas, manejando el concepto de la matriz de varianzas/co-varianzas y utilizando solo un límite de control.

Para el presente trabajo se ha decidido utilizar el modelo propuesto por Pignatiello & Runger (1990), pues dentro de su estructura de diseño inicial este es el que presenta mejor performance para la detección temprana de corrimientos diminutos en la media de los procesos, cuando se estudian varias variables al tiempo.

4. METODOLOGÍA

En términos generales se observó el comportamiento de las gráficas de control CUSUM y MCUSUM, pero inicialmente se realizó una caracterización del proceso con variables a simular.

Durante el análisis se realizaron visitas de campo a una empresa salinera del sector industrial, en donde se estudió su proceso, encontrando así el tipo de distribución al que se ajustaban las características de calidad a simular; siguiente a esto se construyó la simulación del proceso con base a los datos de salida de las tres características de calidad seleccionadas (%NaCl, %H2O, Granulometría), con tres niveles de variación, bajo, medio y alto (0,25σ, 0,5σ y 0,75σ, respectivamente). Estos datos fueron reproducidos con una distribución normal y se asumió que el proceso inicialmente se encontraba bajo control estadístico.

En el paso siguiente, se generaron 200 datos, los cuales se analizaron por corrida de simulación y se realizaron 19 réplicas de la misma para obtener resultados más confiables, de esta manera se construyeron 3 escenarios de datos para cada variable con cada uno de los tres niveles de variación.

A partir de la información obtenida en la anterior fase, se construyeron nueve cartas de control CUSUM para cada corrida con la ayuda del software *Minitab 17* y tres cartas de control MCUSUM por escenario de producción con la ayuda del software R 3.2.0, es decir, se realizó el análisis tanto univariado como multivariado de los datos; fueron 19 réplicas realizadas para cada escenario que se simuló. Posterior a esto se realizó un análisis de la potencia de cada una de las cartas construidas, y en contraste, se caracterizó qué herramienta tiene una mejor performance para el procedimiento de detección bajo los distintos escenarios propuestos.

En este orden de ideas, se determinó cual es la carta de control más eficiente en el proceso de detección de corrimientos en las medias de las variables que se encuentran presentes en los procesos industriales, con el objetivo de establecer cuál es la más eficiente en este aspecto, obteniendo así su respetiva potencia y, a través de está, consiguiendo la Longitud Promedio de Corrida (ARL, por su sigla en inglés).

ISBN: 978-958-5430-49-5

Por último se determinó la de mayor efectividad en la detección de corrimientos, y luego de un análisis más profundo se llegó a la conclusión de si resulta mejor hacer el análisis con varios gráficos CUSUM o con uno MCUSUM.

5. RESULTADOS

A continuación, en la figura 2 se presentan los gráficos de control CUSUM y MCUSUM que muestran el comportamiento promedio del experimento y las réplicas que fueron realizados en el estudio, teniendo en cuenta que se midió el número de la muestra en la que se obtuvo el primer punto por fuera de los límites de control:

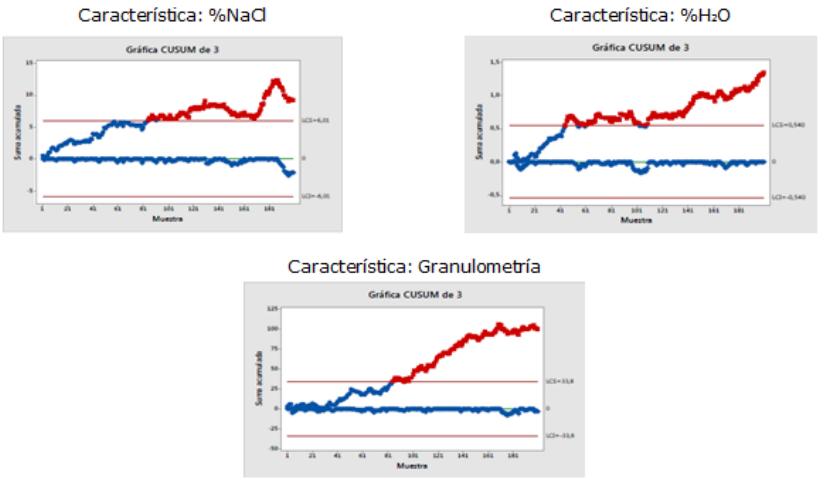


Figura 2. Gráficos CUSUM para cada una de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,25 sigmas, 2da réplica de la simulación

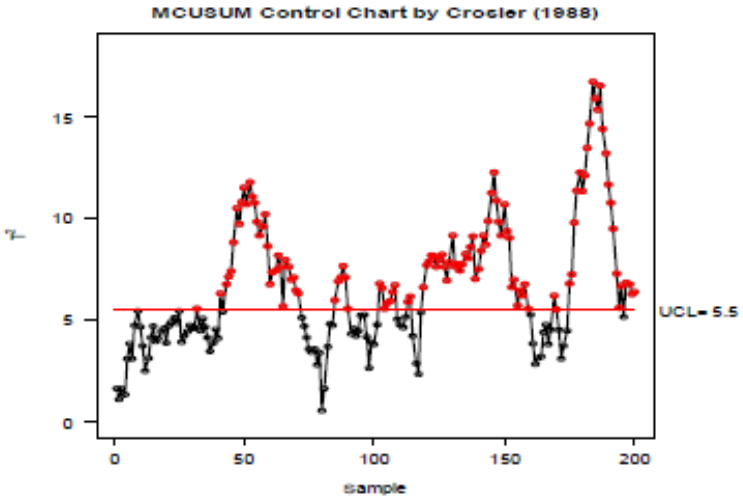


Figura 3. Gráfico MCUSUM de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,25 sigmas, 2da réplica de la simulación

ISBN: 978-958-5430-49-5

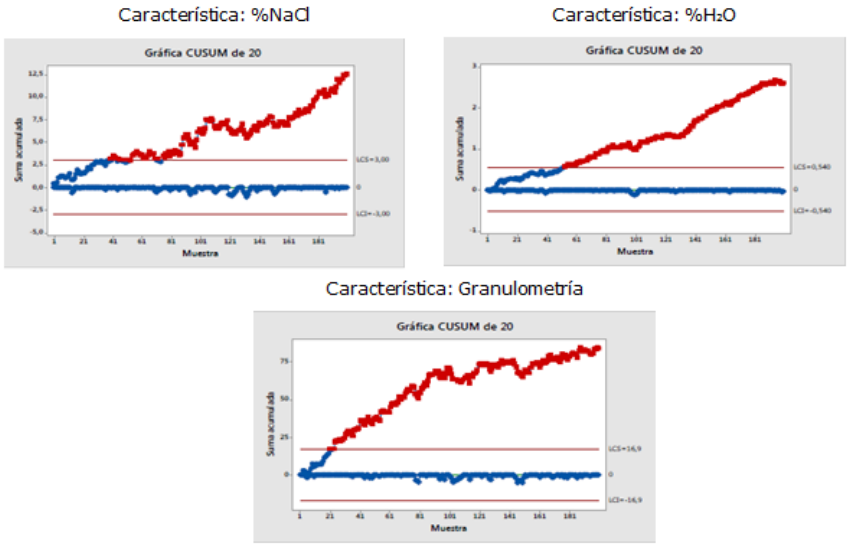


Figura 4. Gráficos CUSUM para cada una de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,5 sigmas, 19na réplica de la simulación

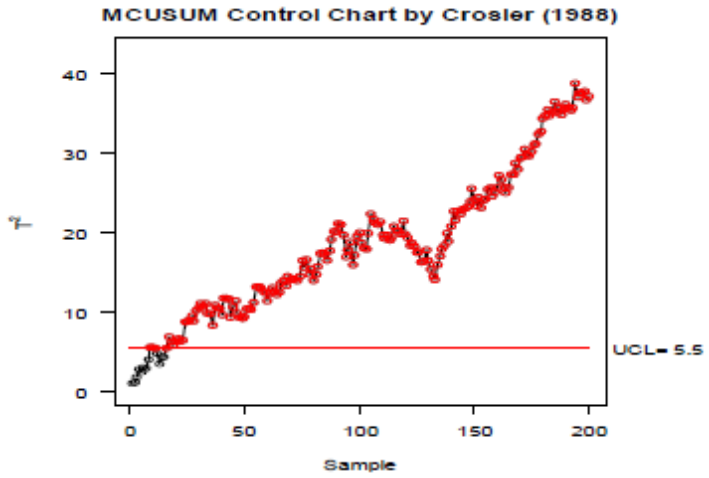


Figura 5. Gráfico MCUSUM de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,5 sigmas, 19na réplica de la simulación

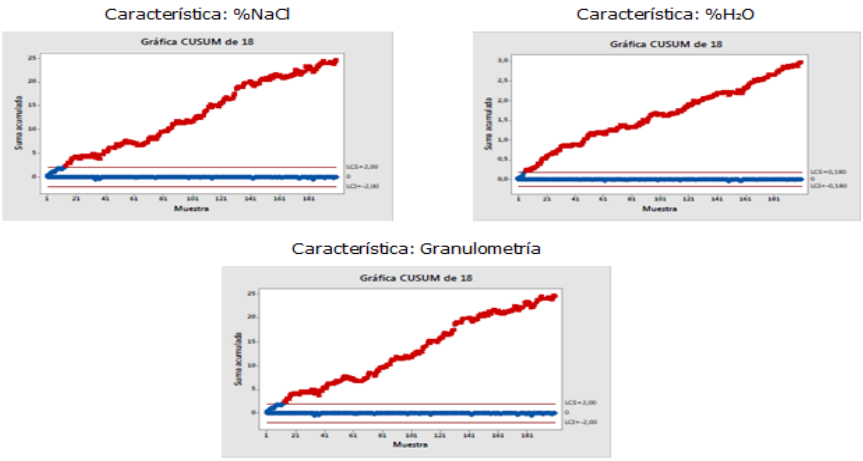


Figura 6. Gráficos CUSUM para cada una de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,75 sigmas, 17ma réplica de la simulación

ISBN: 978-958-5430-49-5

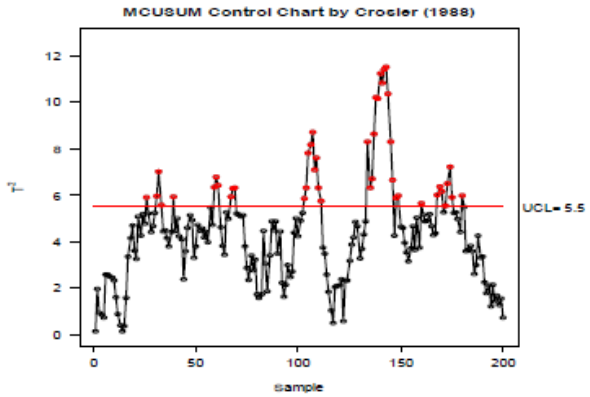


Figura 7. Gráfico MCUSUM de las tres características de calidad, nivel de corrimiento a 0,75 sigmas, 17ma réplica de la simulación

Con base en los resultados mostrados gráficamente, como los vistos en las anteriores figuras, se puede conglomerar el comportamiento de cada herramienta en las siguientes tablas:

Tabla 1. ARL obtenidos para Gráficos CUSUM

Corrimiento		Carac. No. 1	Carac. No. 2	Carac. No. 3	ARL promedio
Nivel	0,25	87,55	80,2	85,7	84,48
	0,5	31,3	53,6	33,3	39,4
	0,75	14,7	15	18,1	15,93

Tabla 2. ARL obtenidos para Gráficos MCUSUM

Corrimiento		ARL promedio
Nivel	0,25	31,6
	0,5	12,25
	0,75	7,7

De esta manera, lo principal que se puede observar es como en cada uno de los tres niveles de corrimiento, la potencia encontrada en el gráfico de control multivariado es superior a su homologo univariado, puesto que los ARL de los gráficos MCUSUM en cada una de sus réplicas son mucho más pequeños que los presentados por los gráficos CUSUM, lo que induce a considerar que el uso de las cartas multivariadas es mucho más efectivo para detectar la presencia de causas externas de variación que puedan estar afectando procesos, tal como el estudiado, que requieran de un monitoreo exacto y oportuno en su producción para prevenir la generación de productos no conformes con las especificaciones.

6. CONCLUSIONES

Los gráficos de control MCUSUM son excepcionalmente efectivos para detectar corrimientos en la media de las variables de un proceso, inferiores a una desviación estándar, pero es importante que se deje claro que estos simplemente alarman sobre la presencia de esta variación, pero en ningún momento detallan cuál de las características que han sido involucradas para su construcción y monitoreo, es la que tiene mayor incidencia en ese aviso; lo que se puede entonces considerar como un punto a favor de los gráficos CUSUM.

Por otro lado, para un manejo adecuado y un óptimo rendimiento de los gráficos MCUSUM, es preciso que las características a interactuar tengan un alto grado de correlación, o bien, que sean atributos que deban ser

ISBN: 978-958-5430-49-5

medidos al mismo tiempo y en el mismo punto del proceso productivo, puesto que es vital que estos se vean afectados por las mismas causas propias y externas de variación del proceso.

En consecuencia de lo antes mencionado, en caso de tener características a monitorear en un mismo proceso, pero en etapas diferentes de este, es pertinente el uso de gráficos CUSUM para cada característica en específico.

Igualmente desde la primera simulación se observa que los gráficos de control MCUSUM, son mucho más efectivos que los gráficos CUSUM, en cada uno de los tres niveles de corrimientos en los que fueron evaluados en el experimento y sus réplicas, aunque la ventaja más importante se refleja cuando el corrimiento es cercano a los 0,75 sigmas respecto a las medias de las características de calidad manejadas.

En general, a medida que el nivel del corrimiento se incrementa el comportamiento de los gráficos de control (CUSUM y MCUSUM) es mucho más efectivo, y la detección del mismo es mucho más temprana, entendiendo que siempre se manejan niveles de variación inferiores a un sigma respecto al valor medio de las características del proceso.

LISTA DE REFERENCIAS

Ewan, W. D. (1963). When and How to use CU-SUM Charts. *Technometrics, 5*(1), 1-22.

Pignatiello, J., & Runger, G. (1990). Comparions of Mutltivariate CUSUM Charts. *Journal of Quality Technology, 22*(3), 173-178.

Santos, E. (2012). Multivariate Statistical Quality Control Using R, *SpringerBriefs in Statistics 14*, DOI 10.1007/978-1-4614-5453-3.

Wadsworth, H. M., Stephens, K. S. & Godfrey, A.B. (1986). Modern Methods for Quality Control and Improvement, New York, USA: Wiley.

Woodall, W. H., & Neube, M. M. (1985). Multivariate CUSUM Quality Control Procedures. *Technometrics, 27*, 285-292.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

REVISIÓN DE LA LITERATURA PARA LA MEDICIÓN DE LA PRECISIÓN DE PRONÓSTICOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Paula Andrea Zapata Flórez[1]
Carlos Alberto Castro Zuluaga[2]

RESUMEN

Los métodos de pronósticos de demanda en la cadena de suministro han sido objeto de estudio en una gran cantidad de literatura tanto científica como práctica, ya que de sus resultados se obtiene información relevante que afecta directa e indirectamente diferentes nodos de la cadena de suministro. Tan importante como la elaboración de los pronósticos, quienes toman las decisiones se enfrentan a la disyuntiva de elegir medidas de rendimiento que permitan evaluar los resultados obtenidos con dichas proyecciones respecto al objetivo o meta de la organización. El presente trabajo pretende recopilar medidas de error o de desempeño halladas en la literatura de pronósticos de series de tiempo de la cadena de suministro, e identificar factores relevantes respecto a su implementación en el campo organizacional y científico. La búsqueda usó los términos *forecast accuracy, accuracy measures* y *supply chain* en las bases de datos *Scopus*® y *Google Scholar*® para cualquier rango de tiempo. De la revisión se encontró una agrupación similar de las medidas de error en los textos revisados, así: medidas dependientes de la escala; porcentuales; relativas a otras medidas, entre otras. Aunque los primeros textos se encontraron desde finales de la década de 1980 el tópico sigue estudiándose en la actualidad y se observa un interés por seguir desarrollando nuevas medidas que corrijan las desventajas de las ya estudiadas. Se presentan recomendaciones a partir del análisis de la literatura.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de pronósticos de demanda en la cadena de suministro han sido objeto de estudio de cuantiosa literatura, ya que de sus resultados se obtiene información relevante que afecta directa e indirectamente diferentes nodos de la cadena de suministros como la realización de presupuestos, la planeación de operaciones y los inventarios, entre otros. Estas relaciones han sido mencionadas por diversos autores (Makridakis, 1993) (Makridakis *et al.*, 1998) (Hyndman & Koehler, 2006) (Hoover, 2009), y son consideradas de vital importancia, porque apoyan el desarrollo de planes a nivel operativo, táctico y estratégico en las organizaciones, así como definen en cierta manera el futuro de estas.

Tan importante como la elaboración de los pronósticos, quienes toman las decisiones se enfrentan inicialmente a la disyuntiva de elegir de entre diferentes métodos, aquellos que se ajusten "correctamente" al objeto de interés de su cadena de suministro y con los cuáles las organizaciones obtengan el mayor beneficio a menor costo. Como elemento indicador o de comparación de métodos se suelen usar diferentes medidas de error existentes, las cuales generalmente expresan la diferencia entre lo pronosticado y lo sucedido en la realidad. Para evitar un posible sesgo o subjetividad en la interpretación de los pronósticos, comúnmente se usa una única medida base o estándar, sin embargo, y como se ha señalado (Hyndman & Koehler, 2006), no todas las medidas son comparables para cualquier serie de tiempo y cada una presenta beneficios y desventajas frente a su interpretación y uso. Para quien pronostica, el conocimiento sobre estas medidas y sus características representa una parte esencial de su labor, es así como en la literatura es posible encontrar diferentes enfoques que listan medidas de error y sus principales características (Armstrong & Collopy, 1992) o proponen una guía en la medición de la precisión para apoyar la toma de decisiones en la cadena de suministro (Hoover, 2009). Sin embargo, con fines exploratorios resulta práctico para las organizaciones y quienes realizan los pronósticos plantearse la existencia de una compilación de estas medidas y su implementación en casos particulares. Mathews & Diamantopoulos (1994) y Shcherbakov *et al.* (2013) por

[1] Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, pzapata8@eafit.edu.co
[2] Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, ccastro@eafit.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

ejemplo, proponen una taxonomía para las medidas de error en pronósticos, en donde se recopilan una gran cantidad, las cuales son agrupadas de acuerdo a criterios definidos por los autores, como su relación con el tamaño de los datos (dependientes de la escala), o su formulación matemática (diferencias, proporciones, etc.). La literatura encontrada respecto a la compilación de medidas de error en métodos de pronósticos no fue abundante y al parecer, es aún más escasa cuando se realiza una búsqueda para la última década, aunque, es posible notar que es un tópico que aún genera controversia y es objeto de investigación en los últimos años (Shcherbakov *et al.*, 2013). De acuerdo a lo anterior y por la necesidad de la industria de tener a disposición la mayor cantidad de opciones disponibles, en el presente trabajo se pretende recopilar todas aquellas medidas halladas en la literatura, desde las usadas tradicionalmente hasta algunas de corte más reciente, junto con las principales conclusiones de su uso en el campo organizacional y científico.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera: en la segunda sección se enuncia la metodología de búsqueda de literatura; en la tercera sección se presentan las diferentes medidas de error y/o rendimiento halladas en la literatura enfocadas a su utilización en las diferentes etapas de la cadena de suministro; en la última sección se exponen las conclusiones y el trabajo futuro en esta línea de investigación.

2. METODOLOGÍA DE BUSQUEDA

De acuerdo a Velásquez (2014), los investigadores se pueden servir de la revisión de literatura para explorar nuevos horizontes, encontrar brechas en el conocimiento o probar sus teorías. Para ello existen diferentes metodologías de revisión que pueden variar según el objetivo que el autor persiga, Grant & Booth (2009), realizan una tipología que contiene una serie de estas revisiones de literatura y mencionan el propósito y los posibles resultados obtenidos con cada una de ellas. Con base en esta tipología se presenta una revisión o reseña rápida que responde a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las medidas de error en pronósticos estudiadas y/o aplicadas en cadenas de suministros en las últimas dos décadas?

Esta pregunta busca atender a las necesidades de quienes pronostican en la práctica y en la comunidad académica, para reunir el uso de diferentes medidas de rendimiento y/o comparación de los métodos de pronóstico en la cadena de suministro. A partir de estas preguntas se definieron términos de búsqueda como *supply chain forecasting, forecast accuracy, forecast error,* entre otros. La búsqueda se realizó en la base de datos *Scopus*® y *Google Scholar*® durante el mes de Julio de 2016.

3. HALLAZGOS

Como primera medida la búsqueda se centró en determinar la validez y vigencia de la pregunta planteada, en otras palabras, verificar si esta pregunta ya había sido contestada, incluyendo los estudios de los últimos años, sin encontrar una revisión reciente de corte similar. De los resultados se resalta la importancia de determinar métricas adecuadas para los métodos de pronósticos en las organizaciones, debido a que una buena interpretación de los mismos puede afectar el rendimiento de toda la cadena de suministro, como el exceso o escasez de inventario, o impactos negativos en las decisiones de tipo estratégico, táctico y operativo.

3.1. Propósito del uso de medidas de error (pronóstico o ajuste)

Armstrong & Collopy (1992), mencionan que las medidas de error tienen dos posibles objetivos, el primero, elegir métodos de pronósticos adecuados y el segundo, calibrar o ajustarse (*fit*) a modelos de datos ya existentes. Para esta última tarea recomienda usar medidas sensibles a cambios como RMSE (Root Mean Square Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) y GMRAE (Geometric Mean Relative Absolute Error), esta última con resultados superiores sobre las demás, respecto a criterios evaluados en el artículo como confiabilidad y posibles sesgos. La definición de un objetivo podría ser un factor de decisión en el momento de elegir una medida de error determinada. Mathews & Diamantopoulos (1994), también presentan estos dos objetivos como criterio de selección entre medidas de error. Estos dos artículos remarcan la importancia de la selección de las medidas de error o exactitud de los pronósticos, tópico que prevalece y aún se encuentra sujeto a controversia (Morlidge, 2015) (Davydenko & Fildes, 2013). En general los textos estudiados se centran en las medidas de error como herramientas para la medición de la exactitud de los pronósticos de

ISBN: 978-958-5430-49-5

demanda, con objetivos específicos como las demandas intermitentes (Hyndman, 2006), sin embargo, reconocen otros propósitos como la comparación de diferentes métodos con el objetivo de seleccionar uno o varios de ellos (Shcherbakov *et al.*, 2013) (Armstrong & Collopy, 1992).

3.2. Generalización y caracterización

Para evitar un posible sesgo o subjetividad en la interpretación de los pronósticos, y por facilidad de uso, comúnmente las organizaciones buscan una única medida base o estándar para todos sus productos en todos los niveles jerárquicos de la cadena de suministro de forma agregada en centros de distribución o por su demanda total, y desagregada por puntos de venta o ítems individuales (*Stock-Keeping Unit* o SKU). En la literatura científica, los autores plantean metodologías para encontrar una teoría generalizada para medir la exactitud en los pronósticos (Armstrong & Collopy, 1992) y en esta tarea caracterizan también los diferentes métodos de pronósticos de acuerdo a las series de tiempo a las que se enfrentan.

Armstrong & Collopy (1992) mencionan el uso de medidas de tendencia central (mediana y media) para dar una interpretación resumida de los resultados obtenidos a través de diferentes medidas de error, resaltando que se debe controlar la aparición de datos atípicos. También identifican, a través de análisis de correlación, que en general las medidas se refieren a las mismas dimensiones dentro de los datos, es decir, pretenden medir las mismas características, teniendo esto en cuenta, resulta válido indagar o validar si el uso de diversas medidas sobre la misma serie de datos es redundante. Precisamente, Mathews & Diamantopoulos (1994), identifican cuatro dimensiones o categorías en las que se ubican algunas de las medidas de error: la primera relacionada con medidas de proporciones o razones, la segunda con medidas basadas en el volumen de los datos, una tercera representa sesgo en los pronósticos y una última dimensión que contuvo solo una medida usada para el ajuste de las proyecciones a los datos. De la revisión de la literatura, se encuentra que en seis de los doce textos revisados los autores convergen en ciertas agrupaciones para las medidas de error, como, por ejemplo, la escala en la que se organizan los datos, su estructura matemática, la relación con otras medidas, entre otros factores. A continuación, se presentan los principales grupos encontrados.

3.2.1. Errores dependientes de la escala

Estas medidas son aquellas donde el tamaño de los errores depende de la escala de los datos. Esto dificulta la comparación de los resultados de las medidas entre diferentes series de tiempo, y de la misma forma entorpece la labor de toma de decisiones en las organizaciones con diversos ítems para proyectar (Armstrong, & Collopy, 1992) (Hyndman & Koehler, 2005) (Hyndman, 2006) (Mccarthy *et al.*, 2006) (Fildes & Davydenko, 2013) (Shcherbakov *et al.,* 2013).

Dentro de las más relevantes se encuentran la MAD (*Mean Absolute Deviation*) o MAE (*Mean Absolute Error*), MSE (*Mean Square Error*) y RMSE (*Root Mean Square Error*), entre otras. Por otro lado, estas medidas tienen cálculos e interpretación sencillos, lo cual motiva su popularidad entre las organizaciones (Kahn, 1998).

3.2.2. Errores porcentuales

Para superar el obstáculo que suponen las diferentes escalas es posible usar las medidas de porcentajes de error respecto al valor real de la demanda. El MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) es la medida de porcentaje que recibe mayor atención en la literatura, sin embargo, presenta inconvenientes porque sus resultados se determinan como infinitos o indefinidos si hay valores de cero en los datos, como puede pasar con demandas intermitentes (Hyndman, 2006), lo que lo inhabilita para comparar este tipo de demandas. De igual forma, en el pronóstico de la temperatura, por ejemplo, determinar un porcentaje de error no tiene sentido, debido a la naturaleza de los datos. Adicionalmente esta medida penaliza con mayor magnitud a los errores negativos, es decir, cuando los pronósticos exceden los valores reales. Por otro lado, esta medida es altamente empleada en las organizaciones en ocasiones debido a su cálculo e interpretación sencillas, y porque en general el tipo de información de la demanda no presenta las características mencionadas arriba, a excepción de la demanda de repuestos, por ejemplo, que por lo general presenta demanda intermitente. Para resolver el problema de penalización identificado en esta medida Makridakis (1993), propone el sMAPE

ISBN: 978-958-5430-49-5

(*Symmetric Mean Absolute Percentage Error*), sin embargo, esta medida no es simétrica, contrario a su nombre penaliza fuertemente cuando los pronósticos son altos, es decir cuando el error es muy positivo, además puede tomar valores negativos, de forma que tampoco es absoluta, y en ocasiones puede presentarse división por valores de cero o cercanos, lo cual la hace matemáticamente inestable (Hyndman & Koehler, 2006) (Shcherbakov *et al.*, 2013) (Fildes & Davydenko, 2013).

Dentro de las medidas de porcentaje también se encuentran, *Percentage Better* (PE), una medida de porcentaje o proporción respecto al método ingenuo, en el que el valor del periodo pronosticado es igual al del periodo anterior, sin embargo, dentro de la literatura revisada esta medida no fue incluida en todos los estudios.

3.2.3. Errores relativos

El objetivo de los errores relativos, es sobrepasar el obstáculo de las medidas dependientes del tamaño de los datos, como la MAD, o RMSE, y las otras desventajas presentadas por los errores porcentuales a partir de la creación de una escala. Hyndman (2006), propone el MASE (Mean Absolute Scaled Error), el cual pretende obtener un valor relativo a una medida de error obtenida con el método ingenuo, que sirva como escala para comparar diferentes series de tiempo, de diverso tamaño y horizonte de tiempo.

3.2.4. Otras medidas

A lo largo de la revisión se encontraron diversas medidas, y se resalta el trabajo de Shcherbakov *et al.* (2013), debido a la extensión con que se revisan especialmente desde su base teórica. Gooijer & Hyndman (2006), también hacen una extensa revisión en donde se mencionan medidas novedosas como las distancias de tiempo propuestas en 2003. Otros, han procurado ajustar el problema de escalas a través de la diferenciación o derivación de las series a través de lo que denominan como el segundo momento de pronóstico generalizado (*Generalized Second Forecast Moment*), pero estos métodos no han sido altamente usados.

3.3 Estudios de aplicación de las medidas de error

Se observó también en la literatura un interés por conocer a través de sondeos el grado de aceptación o de uso de medidas de error tanto en las organizaciones como en la academia. Carbone & Armstrong (1982), sondean a 145 expertos en pronósticos, tanto en el campo práctico como el científico. Como resultado de este estudio surgen más preguntas que respuestas, según los mismos autores, aunque se puede observar una preferencia desde ambas perspectivas por medidas como el error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés). Igualmente, Kahn (1998), realiza un sondeo donde se entrevistaron 40 gerentes del área de pronósticos. Allí se encuentra que algunas organizaciones no miden el error o la precisión (*accuracy*) en ningún sentido, a pesar de utilizar métodos de pronósticos. Asimismo, en donde sí se llevaban métricas, el Error Porcentual Medio Absoluto (MAPE, por sus siglas en inglés) es el más utilizado. Estudios como McCarthy *et al.* (2006), no se centran únicamente en explorar las medidas de error utilizadas, sino que también indagan sobre temas como el flujo de información hacia los pronósticos, la familiaridad en su aplicación y la satisfacción con los métodos implementados, entre otros temas, y además comparan los resultados obtenidos con otros dos estudios de la década de 1995 referentes a los mismos temas. Respecto a las medidas de precisión se señaló una reducción de los niveles de precisión en comparación con los estudios ya mencionados, esto se atribuye a los cambios en la forma de medir su precisión en cada periodo de tiempo (2006 y 1995). En ambos periodos se usaron las medidas de MAPE y PE. En el estudio se concluye que el uso de MAPE bajó, y el de PE subió, sin embargo, de los que usaron PE, un 75% lo hizo en combinación con MAPE. Por su parte, el uso de la medida "desviación" también ascendió, sin embargo, no se hizo un análisis del incremento o reducción en el uso de las medidas en conjunto.

ISBN: 978-958-5430-49-5

3.4 Niveles de agregación dentro de la cadena de suministros

Se observa en la literatura una tendencia por analizar datos de demanda individuales o desagregados, especialmente en aquellos textos que tomaron como base la información de la competición *Makridakis o M-competition* (Hyndman & Koehler, 2005; Armstrong & Collopy, 1992, Hyndman, 2006). Se observa en algunos casos que las medidas no hacen énfasis en el nivel de agregación de los datos y que no se presta especial atención al tratamiento de la demanda agregada, que podría facilitar la tarea cuando existe una gran magnitud de productos para pronosticar. Hoover (2009), señala la importancia de definir el nivel de agregación que tienen los pronósticos dentro de la cadena de suministro. Este ejercicio a nivel agregado es relevante porque se pueden detectar cambios sistemáticos en la demanda que quizás no puedan observarse si la medida se aplica en un nivel individual o desagregado como en los puntos de venta, o centros de distribución. De cualquier forma, esto dependerá del objetivo de la organización y de los procesos que estriban de los pronósticos de demanda, sin embargo, es de especial interés, el hecho de que no existe una diferenciación para el uso de medidas de error en los diferentes niveles de agregación, debido a que van orientados a diversos actores y su interpretación podría dificultarse en niveles altos en la jerarquía de la organización.

3.5 Introducción de nuevas medidas

Contrario al progreso del tiempo, el uso de las medidas de error se mantiene más bien constante. De los 12 textos revisados, solo unos pocos presentaron nuevas medidas de error. Armstrong & Collopy (1992), proponen el *CumRAE*, una medida acumulativa para tratar con series en diferentes horizontes de tiempo. Hyndman & Koehler (2005), proponen el MASE como posible solución para las desventajas mencionadas en los errores porcentuales y la MAD del método ingenuo. Sin embargo, Hoover (2009), señala que esta medida puede no ser intuitiva desde un punto de vista gerencial, lo que dificulta su difusión en la industria. Fildes & Davydenko (2013), proponen el *AvgRelMAE*, una medida de las eficiencias relativas de los ajustes de juicio realizados a las series, esta es propuesta debido a que no se evidencian otras métricas que capturen la magnitud de los cambios que las decisiones subjetivas o de juicio producen en los pronósticos. En general las medidas propuestas están derivadas de otras ya existentes, con la intención de superar los obstáculos que sus originales presentan.

4. CONCLUSIONES

Llama la atención la escasa literatura orientada a la investigación teórica de las propiedades estadísticas de algunas medidas de error, como la MAD, en la cadena de suministro. Gooijer & Hyndman (2006), señalan este hecho y lo atribuyen a que estas teorías, por lo general, son muy complejas y no se facilita su interpretación en la industria, por lo que la integración de estas al campo real es un área que demanda mayor investigación. En este esfuerzo por la aplicación de teorías en la práctica, Hoover (2009), propone una guía para el seguimiento de la precisión en la cadena de suministro y sin otorgarle complejidad, explica como el proceso de medición de los pronósticos debe ser considerado como parte de un sistema y no individualmente, debido a la cantidad de repercusiones que tienen estos en toda la cadena. También se identifica una posible oportunidad de investigación en el uso de medidas determinadas por los niveles de la cadena de suministro (cadena entera, centros de distribución, puntos de venta, etc.) y por el nivel de agregación (demanda agregada, SKU), pues cada nivel está compuesto por diferentes actores en el sistema y diferentes características que quizá no puedan ser captadas por una única medida de error. Como trabajo futuro se pretende mostrar de manera práctica el desempeño, y características de las medidas de error más relevantes encontradas en la presente revisión, con el fin de determinar una medida para comparación de diferentes métodos de pronósticos.

LISTA DE REFERENCIAS

Armstrong, B. J. S., & Collopy, F. (1992). Error Measures for Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons by J. Scott Armstrong and Fred Collopy Reprinted with permission form. *International Journal of Forecasting, 8*(1), 69–80.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Carbone, R. & Armstrong, J. S. (1982). Evaluation of Extrapolative Forecasting Methods: Results of a Survey of Academicians and Practitioners. *Journal of Forecasting, 1*(2), 215–217.

Davydenko, A. & Fildes, R. (2013). Measuring forecasting accuracy: The case of judgmental adjustments to SKU-level demand forecasts. *International Journal of Forecasting, 29*, 510–522.

De Gooijer, J. G., & Hyndman, R. J. (2006). 25 Years of Time Series Forecasting. *International Journal of Forecasting, 22*(3), 443–473.

Hoover, J. (2009). How to Track Forecast Accuracy to Guide Forecast. *Foresight Summer*, (14), 17–24.

Hyndman, R. & Koehler, A. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting, 22*(4), 679-688.

Hyndman, R. (2006). Another Look at Forecast-Accuracy Metrics for Intermittent Demand. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting,* (4), 43–46.

Kahn, K. B. (1998). Benchmarking sales forecasting performance measures.pdf. *The Journal of Business Forecasting, 17*(4), 19-23.

Makridakis, S. (1993). Accuracy measures: Theoretical and practical concerns. *International Journal of Forecasting, 9*, 527–52.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C. & Hyndman, F. (1998). *Methods and applications.*

Mathews, B. P. & Diamantopoulos, A. (1994). Towards a taxonomy of forecast error measures a factor? comparative investigation of forecast error dimensions. *Journal of Forecasting, 13*(4), 409–416.

McCarthy, T. M., Davis, D. F., Golicic, S. L., & Mentzer, J. T. (2006). The evolution of sales forecasting management: A 20-year longitudinal study of forecasting practices. *Journal of Forecasting, 25*(5), 303–324.

Morlidge, S. (2015). A Better Way to Assess the Quality of Demand Forecasts. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*, (38), 15-20.

Shcherbakov, M. V., Brebels, A., Shcherbakova, N. L., Tyukov, A. P., Janovsky, T. A., & Kamaev, V. A. evich. (2013). A survey of forecast error measures. *World Applied Sciences Journal*, *24*(24), 171–176.

Velásquez, J. (2014). Una guía corta para escribir revisiones sistemáticas de literatura Parte 1. *DYNA, 81*(187), 9-10.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

UNA PROPUESTA PARA GESTIONAR EL CONOCIMIENTO GENERADO DEL PROCESO DE SEGUIMIENTO DE OBJETIVOS Y RESULTADOS CLAVE (OKR)

Alonso Pérez-Soltero[1]
Misael Gómez-Encinas[2]
Mario Barceló-Valenzuela [3]
Gerardo Sánchez-Schmitz[4]

RESUMEN

El éxito de una organización depende de la capacidad de ponerse metas y lograr alcanzarlas. El método de planificación "Objetivos y Resultados Clave" (OKR, por sus siglas en inglés) son objetivos que se ponen las personas y que van alineados a la organización, para luego ser ejecutados y evaluar su cumplimiento.

Poder gestionar el conocimiento y experiencias que viven las personas durante su cumplimiento o los desaciertos que cometen por no lograrlos, da la posibilidad a que una empresa aproveche las mejores prácticas y/o evite caer en los mismos errores, finalmente, lo que interesa es que la organización capitalice estas experiencias y sea más productiva.

El presente trabajo plantea los criterios a considerar para elegir el conocimiento a documentar y compartir, como parte de una propuesta para gestionar el conocimiento generado del proceso de seguimiento de los OKR. Como resultado, se describen los criterios propuestos, un instrumento que ayuda en su aplicación y algunas estrategias para favorecer su difusión dentro de la organización, además, se describen los avances que se tienen en su implementación en una empresa dedicada al desarrollo de software.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reconoce la importancia que tiene que las organizaciones establezcan medidas para evaluar el rendimiento de sus metas, además, de aprovechar el conocimiento que poseen para ser cada vez más competitivas.

La gestión del conocimiento es una estrategia donde las personas, tecnologías, procesos y estructura organizacional agregan valor a una empresa a través de la reutilización y la innovación. Esto se logra a través de la promoción de la creación, el intercambio y la aplicación de conocimientos, así como a través de la alimentación de las valiosas lecciones aprendidas y mejores prácticas con el fin de fomentar el continuo aprendizaje organizacional.

Entre los principales retos sobre el seguimiento del cumplimiento de los OKR, es que las organizaciones se enfocan únicamente en saber si las personas los alcanzaron o no, o el nivel que alcanzaron en su cumplimiento, sin embargo, el proceso vivencial por el que pasan las personas para lograr cumplir con las metas no es documentado, es decir, la experiencia que ellos viven para lograr cumplir con los OKR o los desaciertos que cometen por no lograrlos, no se documenta.

El objetivo del presente trabajo es plantear los criterios a considerar para elegir el conocimiento a documentar y compartir, como parte de una propuesta para gestionar el conocimiento generado del proceso de seguimiento de los objetivos y resultados clave.

[1] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, aperez@industrial.uson.mx
[2] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, misael.gomez@unison.mx
[3] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, mbarcelo@industrial.uson.mx
[4] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, gsanchez@industrial.uson.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

Este documento está estructurado de la siguiente manera: se tiene una sección de marco de referencia donde se explican principalmente los conceptos de OKR y la gestión del conocimiento, luego se proponen los criterios para elegir el conocimiento a documentar en los OKR, posteriormente se describen los avances que se tienen hasta el momento en su implementación en una empresa desarrolladora de software en el noroeste de México, finalmente, se encuentran las conclusiones de este trabajo.

2. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se describen los principales conceptos relacionados con este trabajo y que corresponden a los objetivos y resultados clave, gestión del conocimiento y al tema sobre difundir y compartir el conocimiento.

2.1. Objetivos y resultados clave (OKR)

Desde la década de 1950, los líderes empresariales han adoptado una variedad de técnicas de gestión destinadas a mejorar el rendimiento de los empleados. Peter Drucker introdujo la dirección por objetivos, un proceso durante el cual la gerencia y los empleados definen y acuerdan objetivos y lo que es necesario hacer para alcanzarlos (BetterWorks, 2015).

Klau (2013) define que un objetivo es lo que se quiere lograr, son metas que se ponen para lograr crecimiento y mejoramiento en los diferentes ámbitos de la vida: personal, laboral, económico, profesional, entre otros. Los objetivos son aspiracionales, por lo tanto son cualitativos, pero estos deben de ser claros en lo que se quiere lograr y no sólo deben de ser claros, sino que se debe de poder medir mediante metas.

Los resultados clave describen cómo saber si se logra un objetivo, son metas concretas, específicas y medibles, limitados en número y de duración determinada (BetterWorks, 2015), no es un resultado clave hasta que se tiene un número y miden si se logró o no el objetivo (Klau, 2013).

El sistema OKR requiere que los objetivos y las estrategias generales sean vinculadas de manera eficiente en toda la empresa (Steiber, 2014). OKR no es exhaustivo; está reservado para áreas que necesitan atención y objetivos que no serán alcanzados sin algún atractivo extra especial. Los negocios tradicionales no necesitan OKR (Schmidt, 2014).

Los OKR son una manera probada y de gran alcance para acelerar el crecimiento de una empresa después de que se ha encontrado el ajuste del mercado de productos, o para enfocar la búsqueda en el mercado que explora. Es muy recomendable para cualquier compañía que busca lograr cosas extraordinarias (Wodtke, 2016).

Los OKR han sido pilares fundamentales para la mejora de la excelencia operativa a líderes de la industria como Intel, Oracle, Google y otros, ya que centran sus esfuerzos en las metas importantes para la organización e impulsan la alineación organizacional (BetterWorks, 2015).

2.2. Gestión del conocimiento

En la literatura existen numerosas definiciones de gestión del conocimiento, pero aún no se cuenta con una definición adecuada y aceptada de manera general (Voon-Hsien *et al.*, 2013).

Jennex *et al.* (2009) definen a la gestión del conocimiento como la reutilización de conocimiento para mejorar la eficacia de una organización, proporcionando los conocimientos adecuados a quienes lo necesiten, en el momento que lo necesiten.

Por su parte Hsu & Shen y Ooi *et al.* (citados por Voon-Hsien *et al.*, 2013), describen a la gestión del conocimiento como un enfoque metodológico que ayuda a mejorar una empresa en el montaje y organización del conocimiento para mejorar la capacidad de toma de decisiones la estrategia de formulación de procesos de negocio.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Para Dalkir (2011) la gestión del conocimiento es la coordinación deliberada y sistemática de las personas de una organización, tecnología, procesos y estructura organizacional con el fin de añadir valor a través de la reutilización y la innovación. Esto se logra a través de la promoción de la creación, el intercambio y la aplicación de conocimientos, así como a través de la alimentación de las valiosas lecciones aprendidas y mejores prácticas en la memoria corporativa con el fin de fomentar el continuo aprendizaje organizacional.

2.3. Difundir y compartir el conocimiento

La dificultad en la mayoría de los esfuerzos de la GC se encuentra en el cambio de las prácticas culturales de una organización y hábitos de trabajo de las personas. Radica en conseguir que la gente se tome el tiempo para articular y compartir lo realmente importante. Para que ocurra el compartimiento, tiene que haber un intercambio; un recurso debe pasar entre la fuente y el receptor. Aunque está basado en el conocimiento de la fuente, el conocimiento recibido no puede ser idéntico, ya que como es un proceso de interpretación es subjetivo y está enmarcado por el conocimiento del destinatario. Cada vez hay más conciencia de que la compartición del conocimiento es fundamental para la creación de conocimiento, aprendizaje organizacional y mejora del rendimiento. La capacidad de una organización para aprovechar eficazmente su conocimiento es muy dependiente de su gente, que realmente crean, comparten y utilizan ese conocimiento. La compartición del conocimiento es básicamente el acto de poner el conocimiento a disposición de otros dentro de la organización (Cassai, 2013).

Las organizaciones enfrentan problemas para distribuir y colocar a disposición de sus miembros el conocimiento que ellos necesitan. Es preciso considerar, que el conocimiento se transfiere mediante acciones personales y por tanto, este proceso puede realizarse desde un centro de distribución del conocimiento hacia uno o varios grupos específicos de individuos, entre y dentro de los grupos y equipos de trabajo de la organización o entre individuos. La diseminación/transferencia se describe como el producto que se entrega al usuario final (por ejemplo, fax, documento impreso, correo electrónico) y abarca no sólo el soporte de la entrega, sino también su calendario, la frecuencia, forma, lenguaje, entre otros (Probst *et al.,* 2001).

3. CRITERIOS PROPUESTOS PARA ELEGIR EL CONOCIMIENTO A DOCUMENTAR EN OKR Y ESTRATEGIAS DE DIFUSIÓN

A continuación, se proponen los criterios para la elección del conocimiento que se debe de almacenar y que será beneficioso para la organización. Esto puede implementarse con apoyo de formatos o guías diseñadas para este fin.

Los criterios podrían formularse de la siguiente forma:

- Almacenar el conocimiento generado por la mayor cantidad posible de los objetivos trazados en el periodo. Para este criterio, la organización debe decidir el número de objetivos que deberán ser considerados para documentar el conocimiento generado y en qué periodo de tiempo. El número de objetivos y periodo de tiempo puede estar determinado dependiendo del grado de compromiso de los participantes, para que esta actividad no se vea como una carga adicional de trabajo.
- Almacenar el conocimiento y experiencias exitosas del objetivo que tuvo mayor impacto, además lo que permitió y/o favoreció su cumplimiento. Documentar el conocimiento de mayor impacto organizacional y los elementos, actitudes, acciones, condiciones, entre otros, tanto personales como organizacionales que favorecieron su cumplimiento.
- Almacenar el conocimiento y experiencias de fracaso generados por el incumplimiento de los objetivos no alcanzados, si se considera de impacto. Documentar el conocimiento y lecciones aprendidas, además de los elementos, actitudes, acciones, condiciones, entre otros, tanto personales como organizacionales que no permitieron alcanzar su cumplimiento.

Para implementar estos criterios, se propone contar con una guía que describa de manera detallada los elementos a documentar y el conocimiento durante el desarrollo de los OKR que contemple aspectos como

ISBN: 978-958-5430-49-5

una descripción de contexto donde se aplica el objetivo, una descripción detallada del objetivo, una descripción de las experiencias exitosas del objetivo, las acciones tomadas, cambio y soluciones, las lecciones aprendidas y las acciones de seguimiento.

En cuanto a la difusión del conocimiento generado del proceso de seguimiento de los objetivos y resultados clave, se pueden utilizar herramientas tecnológicas que favorezcan la compartición del conocimiento, con el fin de poder ser reutilizado y aplicado posteriormente.

Para compartir el conocimiento pueden utilizarse diferentes tipos de plataforma según las disponibilidades tecnológicas que tenga la organización, como el uso de páginas web, blogs, wikis, desarrollos independientes o cualquier herramienta tecnológica que la empresa considere pertinente. Estas herramientas pueden ser de acceso privado (solo personal de la organización) o abierta, pero se recomienda que sean de acceso privado, ya que pueden contener información confidencial de la organización que no debe divulgarse.

La herramienta a utilizar debe cumplir con la funcionalidad de ser accesible a todos los miembros de la organización y así poder ser promotora del conocimiento ahí documentado para su posterior aplicación.

4. IMPLEMENTACIÓN EN UNA EMPRESA DESARROLLADORA DE SOFTWARE

Para aplicar los criterios propuestos para elegir el conocimiento a documentar en OKR y las estrategias de difusión, actualmente se encuentra en proceso de implementación en una empresa de desarrollo de software con matriz en el noroeste de México. Esta empresa trabaja con empresas extranjeras para auxiliarlos e incrementar su equipo de desarrollo con el apoyo de ingenieros en México.

A continuación se explica de qué manera esta empresa aplicó los criterios para la elección del conocimiento que se debe almacenar y las guías de apoyo que utilizó para el proceso de la documentación de este conocimiento.

En cuanto al criterio de almacenar el conocimiento generado por la mayor cantidad posible de los objetivos trazados en el periodo, la empresa tomó la decisión que para el primer año se buscaría almacenar el conocimiento generado por al menos uno de los objetivos trazados en el periodo. Se definieron en el año cuatro periodos de tres meses. Para los años posteriores se deberá analizar si se incrementa el número mínimo de objetivos de los que deberán capturar el conocimiento por cada periodo de tiempo.

En relación al criterio de almacenar el conocimiento y experiencias exitosas del objetivo que tuvo mayor impacto, además lo que permitió y/o favoreció su cumplimiento, la organización determinó que se documentaría al menos una experiencia exitosa indicando cuál había sido el éxito obtenido de ese objetivo y qué factores apoyaron su éxito. Además, proporcionar cualquier otra información relevante que pudiera ser de utilidad para los demás miembros de la organización.

Finalmente, en lo relativo al criterio de almacenar el conocimiento y experiencias de fracaso generados por el incumplimiento de los objetivos no alcanzados, si se considera de impacto, la empresa determinó que se documentaría al menos una experiencia de fracaso indicando qué pudo haberse hecho diferente, qué se recomienda mejorar para objetivos similares y qué errores deben ser evitados si se busca hacer un objetivo similar. Además, proveer cualquier otra información relevante que pudiera ser de utilidad para los demás miembros de la organización.

Para documentar el conocimiento siguiendo los criterios propuestos, se aplicó la guía que se detalla en la tabla 1.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 1. Guía para documentar el conocimiento durante el desarrollo de los OKR

OKR	Nombre del objetivo
Descripción del Objetivo y lecciones aprendidas	
Breve descripción del contexto	Describir el contexto actual donde se aplica el objetivo: proyecto, empresa, cliente. • ¿Cuáles serían las principales situaciones a las que se estaría enfrentando al inicio del objetivo?
Breve descripción del Objetivo	Describir el objetivo. • ¿Cuáles son los principales factores que influyen en este objetivo? • ¿A qué objetivos estratégicos impacta? • ¿Cuáles serían sus mejores indicadores?
Experiencias exitosas	Describir qué se ha hecho bien • ¿Cuál ha sido el éxito de este objetivo? • ¿Qué factores apoyaron este éxito?
Acciones tomadas, cambios y soluciones	Describir cuáles serían los mejores legados de este objetivo • ¿Cuáles fueron las principales circunstancias, situaciones de este objetivo? • ¿Cómo fueron estas circunstancias enfrentadas/superadas? • ¿Dónde fueron implementados los resultados del objetivo? • ¿Qué cambios son necesarios realizar para que estos resultados sean logrados implementarse en el futuro?
Lecciones aprendidas	• ¿Qué pudo haberse hecho diferente? • ¿Qué recomienda mejorar para objetivos similares? • ¿Qué errores deben ser evitados si se busca hacer un objetivo similar? • ¿Con qué facilidad podría replicarse el éxito del objetivo en un contexto diferente? • Proveer cualquier otra información relevante
Acciones de seguimiento	Basado en el informe final, incluir un breve resumen de decisiones y conclusiones relacionados a las acciones de seguimiento

A la fecha, se encuentra en proceso de aplicación la guía y se están definiendo las estrategias más convenientes de difusión del conocimiento generado del proceso de seguimiento de los objetivos y resultados clave.

5. CONCLUSIONES

Con esta propuesta se pretende apoyar a las organizaciones sobre qué aspectos tomar en cuenta al momento de elegir el conocimiento a documentar y compartir, durante el proceso de seguimiento de los objetivos y resultados clave. Es importante recordar que esto forma parte de una parte de una propuesta integral para gestionar el conocimiento generado durante el proceso de seguimiento de los OKR.

Para llevar a la práctica estos criterios, se definió una guía de apoyo que cuenta con una serie de preguntas que ayudan a describir el contexto donde se aplica el objetivo, describir el objetivo, mencionar las acciones exitosas, describir las acciones tomadas, cambios y soluciones, documentar las lecciones aprendidas y las acciones de seguimiento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Entre los trabajos futuros de este proyecto está continuar con el proceso de implementación que incluye definir para la empresa la estrategia de difusión del conocimiento generado durante el proceso de seguimiento de los OKR. Esta estrategia sin lugar a dudas, requerirá del apoyo de alguna herramienta de software que facilite la documentación del conocimiento, además de facilitar el proceso de búsqueda de objetivos, experiencias exitosas, lecciones aprendidas, buenas prácticas, entre otros elementos de interés.

LISTA DE REFERENCIAS

BetterWorks (2015). *Getting Started with Objectives & Key Results (OKRs)*, Author.

Cassai, P. (2013). The human side of knowledge management: Knowledge sharing in a community of practice, *Journal of E-Learning and Knowledge Society, 9*(3), 139-150.

Dalkir, K. (2011). *Knowledge Management in Theory and Practice*, Second Edition, MIT Press.

Hsu, S.H. & Shen, H.P. (2005), "Knowledge management and its relationship with TQM", *Total Quality Management & Business Excellence, 16*(3), 351-361.

Jennex, M.E., Smolnik, S., and Croasdell, D.T. (2009). Towards a consensus knowledge management success definition, *Vine, 39*(2), 174-188.

Klau, R. (2013). *How Google sets goals: OKRs. In Google Ventures Startup Lab*. Available at: https://library.gv.com/how-google-sets-goals-okrs-a1f69b0b72c7#.hx1bzkwxt

Ooi, K.B. *et al.* (2009). TQM and knowledge management: literature review and proposed framework, *Journal of Business Management*, 3(11), 633-643.

Probst, G., Raub S. & Romhardt, K. (2001). *Administre el Conocimiento: Los Pilares del éxito*. México: Pearson Educación.

Schmidt, E. (2014). *Google : how Google Works*, First edition, New York, USA: Grand Central Publishing.

Steiber, A. (2014). *The Google model: managing continuous innovation in a rapidly changing world*, London, UK: Springer.

Voon-Hsien, L., Lai-Ying, L., Teck-Soon, H. & Keng-Boon O. (2013). Knowledge management: a key determinant in advancing technological innovation?, *Journal of Knowledge Management, 17*(6), 848-872.

Wodtke, C. (2016). *Radical Focus: Achieving Your Most Important Goals with Objectives and Key Results*, USA: Christina Wodtke Publishing.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

EVALUACIÓN DE LA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DEL GAS NATURAL (GNL, GNC Y GASODUCTOS) APLICADA AL PRE-SAL BRASILERO

Laura Jessenia Silva Granada[1]
Paulo de Barros Correia[2]

RESUMEN

La producción de gas natural (GN) en Brasil está concentrada en campos offshore (76.6%). Desde el 2008 esta producción ha presentado un crecimiento acelerado debido a la entrada en operación de los pozos del Pre-Sal. El gas encontrado en esta zona es un gas asociado, rico en metano y con alto contenido de CO2. En el 2015, la producción en esta área representó 1/3 del total producido en Brasil. Se alcanzaron los 34 MMm3/día, pero debido a la baja capacidad de transporte por gasoductos existentes, el aprovechamiento de este energético ha sido mínimo (20%). Actualmente, existen 6 tecnologías para transportar el GN desde las plataformas offshore hasta los consumidores en tierra, no obstante, solo 3 de ellas son viables técnica y económicamente. Este estudio propone un modelo de Programación Lineal Entera Mixto (PLEM), con la finalidad de estimar la oferta de GN del Pré-Sal (punto de entrega, cantidad y costo). Para esto, son evaluadas las tecnologías de transporte actualmente usadas en la industria como son Gas Natural Comprimido (GNC), Gas Natural Licuado (GNL) y Gasoductos. Se consideraron las condiciones específicas del Pré-Sal como la tasa y los pronósticos de producción, localización de los campos productores y puntos de entrega, entre otros factores. Como resultado se obtuvo la configuración optima de la flota requerida para transportar el gas y las rutas óptimas de transporte que representan el menor costo de distribución y que garantizan el aprovechamiento de este recurso descubierto.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Pré-Sal brasilero

El polígono del Pré-Sal es un área brasilera formada por una camada de rocas porosas localizadas entre 5 y 6 km debajo de la lámina del mar. Esta región se extiende entre los estados de Espirito Santo y de Santa Catarina, entre las Bacías de Santos y Campos.

En diciembre del 2015, la producción de la Bacía de Santos fue de 26,52 MMm3/día, mientras que la producción de Campos fue de 7,8 MMm3/día (MME, 2015).

Actualmente el gas producido en la Bacía de Santos está siendo transportado a tierra usando un sistema de gasoductos conformado por dos rutas. Se tiene planeado construir una tercera que entrará en operación en el año 2023. Las características de estas rutas son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Sistema de transporte actual en el Pré-Sal

	Ruta 1	**Ruta 2**	**Ruta 3**
UPGN Destino	Caraguatatuba	Cacimbas	COMPERJ
Situación	Operación	Operación	Diseño
Capacidad	$10\ \frac{\text{MM m}^3}{\text{dia}}$	$16\ \frac{\text{MM m}^3}{\text{dia}}$	$21\ \frac{\text{MM m}^3}{\text{dia}}$

Fuente: Ehlers (2014)

[1] Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, lauragranada@fem.unicamp.br
[2] Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, pcorreia@fem.unicamp.br

ISBN: 978-958-5430-49-5

1.2. Tecnologías de transporte *offshore*

En las últimas décadas, múltiples tecnologías de transporte offshore han sido propuestas y evaluadas (Tabla 2), pero debido a su poca madurez tecnológica y comercial, sólo tres de ellas están siendo usadas por la industria.

Por mucho tiempo los gasoductos han sido la tecnología más usada. GNL en los últimos años ha ganado participación mundial, pero su difícil procesamiento y bajas temperaturas de transporte no le han permitido desplazar a los gasoductos. La tecnología GNC está surgiendo en el mercado con buen pronósticos gracias a su fácil procesamiento; el costo de construcción de los navíos de transporte ha sido su mayor entrabe.

Tabla 2. Tecnologías de Transporte Offshore

Tecnología	Estado	Medio de Transporte	Estado
Gasoducto	Gaseoso	Ductos	Uso
GNL	Líquido	Navíos	Uso
GNC	Gaseoso	Navíos	Uso
HGN	Solido	Ductos/Navíos	Estudio
GTW	Energía Eléctrica	Cables	Estudio
GTL	Liquido	Navíos	Estudio

La tecnología GTW aún es una opción muy estudiada y no ha sido implementada debido a los altos costos de los cables requeridos para transportar la energía generada en la plataforma. La tecnología GTL, debido al grande número de equipos que requiere para el procesamiento del gas, no ha sido posible implementarla en altamar. Finalmente la tecnología HGN por el hecho de presentar incrustaciones en los gasoductos, su procesamiento aún se encuentra en estudio.

En la Figura 1 es mostrada la distancia y la cantidad de gas que puede ser transportado por cada tecnología.

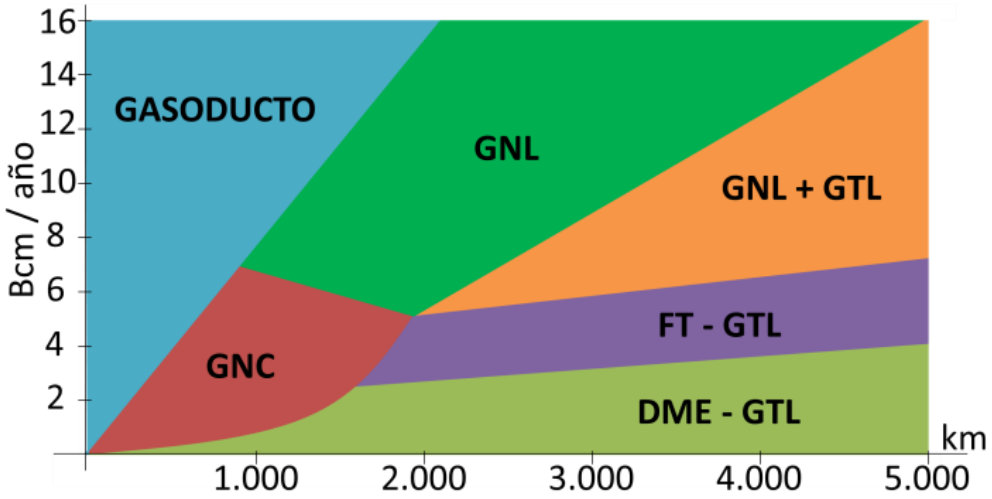


Figura 1. Ventajas de las tecnologías de transporte

Como es posible observar, para distancias cortas, sin importar la cantidad de gas transportado, usar gasoductos genera mayores ventajas. Por otra parte, para grandes distancias y grandes cantidades de gas, la tecnología GNL es la más usada. Respecto a la tecnología GNC, en comparación con lo gasoductos, presenta ventajas para distancias un poco mayores y flujos menores.

ISBN: 978-958-5430-49-5

2. PROBLEMA DEL TRANSPORTE DE GAS NATURAL

La Programación Lineal (PL) puede ser definida como un modelo de optimización en el cual se requiere maximizar o minimizar una función lineal sujeta a restricciones de desigualdad, igualdad o las dos.

El modelo matemático propuesto en este estudio representa el problema de logística de transporte del GN en las zonas del Pré-Sal. Este tipo de problemas es definido como problemas de transporte, en los cuales, existe la necesidad de llevar unidades de un producto específico desde un punto llamado origen hasta otro punto llamado destino. Los principales objetivos de estos modelos de transporte son la satisfacción de todos los requerimientos y la minimización de los costos relacionados con las rutas escogidas.

Los modelos de transporte tienen como características especiales, en primer lugar, la necesidad que el problema sea equilibrado (la oferta es igual a la demanda), y, en segundo lugar, que la matriz A de coeficientes sea unimodular para garantizar que la solución óptima sea entera.

Debido a estas condiciones, dichos modelos son resueltos como problemas especiales de PL, es decir, se han desarrollado algoritmos más eficientes que el método simplex para su resolución. Se destacan el método de la esquina noreste y el método Vogel. Sin embargo, la PL puede ser usada cuando estos modelos presentan restricciones adicionales complejas.

Con restricciones adicionales en los modelos de transporte la unimodularidad de la matriz A se pierde, por lo cual, ya no se puede garantizar una solución entera viable.

Debido a que el modelo de optimización de este estudio tiene restricciones adicionales, este no puede ser considerado como un modelo típico de transporte y por lo tanto, debe ser resuelto usando PLEM.

En los problemas PLEM, parte de las variables deben tener valores enteros, es decir, x_j≥Z^+. La mayoría de los métodos de resolución de estos problemas comienzan su ejecución con la resolución del Problema Lineal Relajado (PLR), en el cual son eliminadas las condiciones de integridad, obteniéndose un problema lineal que puede ser resuelto mediante el método simplex. Si la solución al PLR no verifica las condiciones de integridad es necesario usar algún método que permita resolver el problema entero, destacándose el método de *Branch and Bound*.

De forma resumida, *Branch and Bound* puede ser descrito como un árbol de soluciones, donde cada nodo puede ser ramificado a través de una partición que da origen a nuevos sub-problemas. Su principal característica es conseguir detectar cuando no es necesario seguir ramificado.

3. ESTUDIO DE CASO

Este trabajo está enfocado en las áreas del Pre-Sal brasilero. El análisis consideró 30 años de producción divididos en seis (6) periodos iguales. La estimativa de la producción de gas fue considerada hasta el año 2044 y sus valores son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Estimativa de Producción en el Pré-Sal

Periodos (años)	**Producción** $\frac{\text{MM m}^3}{\text{lustro}}$	
	Campos	**Santos**
P1 (2015-2019)	865	9.138
P2 (2020-2024)	908	28.388
P3 (2025-2029)	951	80.594
P4 (2030-2034)	919	42.101
P5 (2035-2039)	872	93
P6 (2040-2044)	852	0

ISBN: 978-958-5430-49-5

Estos datos de producción pueden ser asumidos como la producción disponible para ser transportada, pues ellos ya tienen descontadas las parcelas de quema, re-inyección, autoconsumo y la fracción de gas que está siendo transportado por las Rutas 1 y 2 y por la futura Ruta 3.

Como es mostrado en la Figura 2, el GN producido en las bacías puede ser transportado hasta las Unidades Productoras de Gas Natural (UPGN) mediante navíos como GNC o vía gasoductos. También este gas puede ser llevado hasta las terminales de Regasificación (RG) por navíos como GNL, no sin antes pasar por un proceso de licuado que se realiza en las Plataformas Flotantes de Licuado (FLNG).

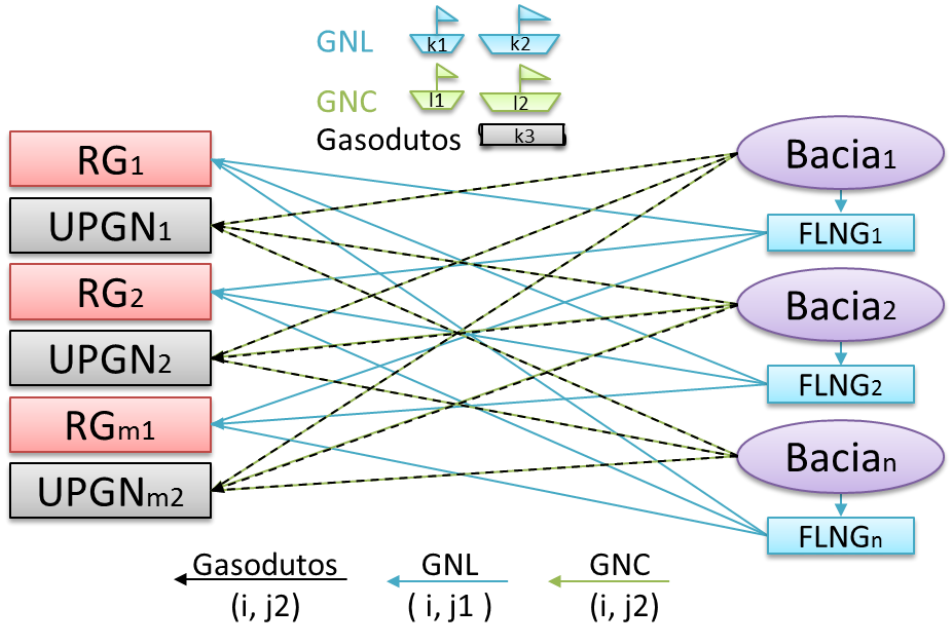


Figura 2. Esquema del modelo de transporte

Este estudio consideró 3 terminales RG como punto de destino para el gas transportado como GNL, ellas son: Pecém, Baia de todos os Santos y Guanabara, las cuales tienen capacidades libres de procesamiento de 11.655, 23.3310 y 33.300 MMm3/lustro respectivamente.

Para el gas transportado como GNC o vía gasoductos fueron consideradas 7 UPGNs, Cacimbas, Sul Capixaba, Reduc, Cabiúnas, Cubatão, Caraguatatuba y COMPERJ, con capacidades libres de procesamiento de 12.870, 1.782, 7.476, 8.541, 2.031, 9.524, 13.320 MMm3/lustro respectivamente.

Los costos de operación Opex, y de inversión Capex para cada tecnología en estudio son presentados en las Tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4. Costos de la Tecnología GNL

	Cap. MMm³	**Capex MMUSD$/m³**	**Opex USD$/m³**
FLGN	N.A	*1,04	*0,03
Navío A	29	5,00	0,33
Navío B	79	**2,00	**1,58

Fuente: *Chan *et al.* (2001), **IGU (2016)

ISBN: 978-958-5430-49-5

Para las tecnologías GNC y gasoductos se consideró un costo de procesamiento de 0,052 USD$/m3. También fue considera un costo de reinyección de 0,5 USD$/m3 (Chan *et al.*, 2001) para todas las tecnologías.

Tabla 5. Costos de la Tecnología GNC

	Cap. MMm3	**Capex USD$/m3**	**Opex USD$/dia**
Navío A	8	*19	**0,08
Navío B	29	*12	**0,29

Fuente: *Nikolaou, Economides y SPE (2009), **Mokhatab et al. (2014)

Tabla 6. Costos de la Tecnología GNC

	Cap. MMm3	**Capex USD$/m3**	**Opex USD$/día**
Gasoducto	21.645	*2,25	**0,05

Fuente: * Rajnauth et al. (2008), ** Chan et al. (2001)

La evaluación de las tecnologías de transporte fue hecha usando el método de VPL. Para cada tecnología fue elaborado un flujo de caja donde fueron representados los costos e inversiones como parcelas negativas y los ingresos obtenidos como parcelas positivas. Esto fue hecho para cada período estudiado. Todos los valores monetarios fueron llevados al instante cero usando una tasa de descuento de 11% anual.

4. RESULTADOS

Se encontró que para la Bacía de Campos, debido a la poca cantidad de gas producido, implementar la tecnología GNC presenta los menores costos de transporte en cada período estudiado y el punto de destino seleccionado es la UPGN Cabiúnas.

Tabla 7. Resultados para la Bacia Campos

	Nav. A GNC	**GN transp. MMm3**	**Viajes**	**GN reinyectado MMm3**
P1	1	856	107	2
P2	1	904	113	0
P3	1	536	167	414
P4	1	912	114	4
P5	1	864	108	3
P6	1	840	105	5

Como se muestra en la Tabla 7, solo se necesita comprar un navío Tipo A para transportar el total de GN producido en los 30 años considerados.

El costo total para transportar los 4.913 MMm3 de GN desde esta bacía hasta la UPGN de Cabiúnas es de 580 MMUSD$.

ISBN: 978-958-5430-49-5

En el caso de la Bacía de Santos son seleccionadas la tecnología GNC en todos los períodos, y a partir del segundo período, gasoductos para apoyar el transporte de gas. En la Figura 3 se presenta el porcentaje de GN transportado como GNC, vía gasoductos y reinyectado en los pozos.

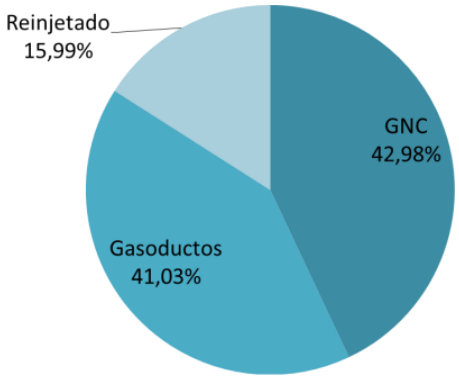


Figura 3. Relación Tecnologías – Bacía Santos

La Tabla 8 presenta la configuración de flota óptima para la Bacía de Santos, la cual está compuesta por dos navíos tipo A, tres navíos tipo B y dos gasoductos. En esta tabla, también se puede observar la cantidad de GN transportado por navíos, por gasoductos y el gas reinyectado en cada período.

Tabla 8. Resultados para la Bacía de Santos

	Navíos		**GN Nav.**	**Ducto**	**GN Ducto**	**Reinyectado**
	A	**B**	**MMm³**		**MMm³**	**MMm³**
P1	0	1	9.135	0	0	3
P2	0	2	15.080	1	13.308	0
P3	2	3	28.769	2	26.190	25.635
P4	1	2	15.915	2	26.186	0
P5	0	0	0	1	93	0
P6	0	0	0	0	0	0

Como se puede ver en la tabla anterior, una elevada cantidad de gas es reinyectada en el período tres, esto se debe a que todas las UPGN consideradas en este estudio están operando en su máxima capacidad, siendo imposible procesar más gas en ellas. En la figura 4 son presentadas las UPGN a las cuales está siendo llevado el GN y la tecnología usada para su transporte.

ISBN: 978-958-5430-49-5

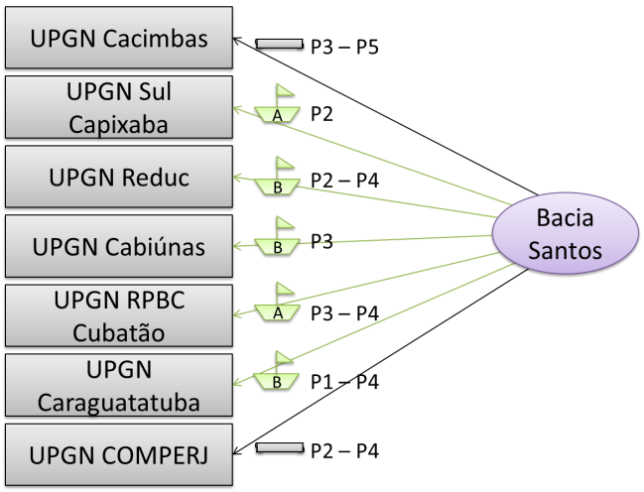


Figura 4. Relación tecnologías – Bacía Santos

En la Tabla 9 se muestran la cantidad de gas transportada en cada período para cada UPGN y el costo total de transporte. Los valores señalados con asterisco (*) son las cantidades transportadas vía gasoductos.

Tabla 9. GN transportado y costos de transporte por UPGN

		Total GN MMm³	Costo Unitario USD$/m³
UPGN Cacimbas	**P3 – P5**	*25.829	*0,057
UPGN Sul Capixaba	**P3**	1.776	0,084
UPGN Reduc	**P2 – P4**	17.400	0,059
UPGN Cabiúnas	**P3**	8.004	0,049
UPGN Cubatão	**P3 – P4**	4.048	0,049
UPGN Caraguatatuba	**P1 – P4**	37.671	0,069
UPGN COMPERJ	**P2 – P4**	*39.960	0,054

Con la configuración de navíos y gasoductos expuesta en las tablas anteriores, el costo total de transporte para las dos bacías es de 13,2 BUSD$. En la Figura 5 es mostrada la relación de costos según la tecnología usada.

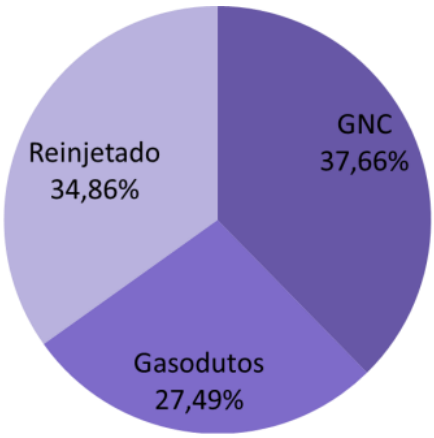


Figura 5. Relación Costos – Bacía Santos

ISBN: 978-958-5430-49-5

Como es posible observar en la figura anterior, la parcela de costo de reinyección es casi igual a la parcela de costo por transporte en navíos, siendo casi tres veces mayor la cantidad de gas transportada como GNC que la cantidad reinyectada.

Considerando el valor medio de venta de GN de la Petrobras en el 2015 de 0,24 USD$/m3 se obtiene un VPL de 0,415 BUSD$. Con lo que se puede concluir que la combinación de tecnologías seleccionadas -siendo una inversión viable-, garantiza el transporte del gas producido y trae consigo beneficios económicos.

5. CONCLUSIONES

El Gas Natural (GN) es un recurso energético que viene ganando participación en el mercado mundial. Su creciente demanda, principalmente en la industria termoeléctrica, ha permitido una serie de estudios y avances tecnológicos en las tecnologías de transporte offshore existentes.

En este trabajo fueron evaluadas y comparadas entre sí las tecnologías de transporte disponibles en la industria (GNC, GNL, gasoductos), a través de un modelo de transporte que fue resuelto usando Programación Lineal Entera (PLE). Como resultado se evidenció que las tecnologías GNC y gasoductos son las más indicadas para transportar el gas. Estos resultados están de acuerdo con la información encontrada en estudios similares realizados por otros autores.

Con este trabajo fue posible estimar la oferta de GN del Pré-Sal, conocer su costo de transporte y las rutas óptimas. Partiendo de estos datos se podría estimar el potencial de energía eléctrica disponible en cada zona y su costo de generación, con el fin de comparar que tan competitivo sería generar electricidad con este gas.

LISTA DE REFERENCIAS

Chan, S. *et al.* (2001). Comparing exploitation and transportation technologies for monetization offshore stranded gas, *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*, Balí, Indonesia.

Ehlers, L. (2014). Infraestrutura e logística de gás natural no Brasil, *Seminário de Gás Natural - Gas Energy*, São Paulo, Brasil.

IGU (2016). *World LNG Report - 2015 Edition*, Avaiable in: htpp://www.igu.org 09/2015

MME (2015). *Boletim de exploração e produção de petróleo e gás natural,* Avaiable in: htpp://www.mme.gov.br 08/2015.

Mokhatab, S. *et al.* (2014). *Handbook of Liquefied Natural Gas*, (1st edition). United States: ELSEVIER.

Nikolaou, M. & Economides, M.; SPE. (2009). Distributed compressed natural gas sea transportation, *Offshore Technology Conference*, United States.

Rajnauth, J. *et al.* (2208). Gas transportation: Present and future, *CIPC/SPE Gas Technology Symposium*, Canada.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ESTUDIO SOBRE LAS TENDENCIAS LOGÍSTICAS EN EL SECTOR HOSPITALARIO

Sara Melguizo Melguizo[1]
Juan Gregorio Arrieta Posada[2]

RESUMEN

Este artículo desarrolla el estado del arte en logística hospitalaria y su gestión de la cadena de suministro a nivel mundial, además de identificar los procesos y tecnologías usadas en la administración de la cadena de suministro en diferentes hospitales. Este trabajo pretende generar un impacto económico, debido a que la adecuada administración de la cadena de suministro permitiría un apropiado aprovechamiento de los recursos; y académico, porque se aportará a la literatura un diagnóstico de las tendencias usadas para el mejoramiento de procesos.

Se llevó a cabo un proceso de búsqueda bibliográfica con el fin de construir el estado del arte de tendencias logísticas mundiales, teniendo en cuenta el significado de la logística hospitalaria y su flujo de información. Posteriormente se realizaron algunas clasificaciones con el fin de permitir un análisis en cuanto a los tipos de metodologías encontradas, los departamentos que se enfocan en el mejoramiento de procesos, y la proporcionalidad de aplicación de procesos y tecnologías en la logística de los hospitales.

Según lo encontrado, las metodologías de mejoramiento continuo son las más usadas para realizar progresos en la administración de la cadena de suministros. Sin embargo, también se encuentran aplicadas otras metodologías como la modelación matemática y la estandarización de procesos.

Conforme las publicaciones encontradas, a través de los años crece el interés por la logística hospitalaria, debido a la necesidad que tiene el sector salud de ser cada vez más competitivo y lograr impactar positivamente la mayor cantidad de pacientes posible.

1. INTRODUCCIÓN

En el sector hospitalario, la cadena de suministros es un factor importante en cuanto a la eficiencia y atención al paciente, puesto que dentro de esta se definen diferentes métodos que hacen parte fundamental del desarrollo de los procesos. La logística hospitalaria actualmente busca que a través de una integración de su cadena, se mejore la percepción del paciente y los tiempos de atención, se disminuyan las demoras, se mejoren los flujos y aumente la efectividad de los procesos (Zona Logística, 2015).

Según investigaciones previas realizadas a nivel mundial, entre el 30% y el 45% de los gastos presupuestarios en un hospital son utilizados en diferentes actividades relacionadas con la logística, y de ellos, más de la mitad pueden ser eliminados (Ozores-Massó, 2014). Algunas de las tendencias utilizadas para la disminución de dichos costos, se basa en la implementación de metodologías y tecnologías como: manufactura esbelta, Sistemas EDI (Electronic Data Interchange), RFID (Radio Frecuency Identification), estandarización de productos y procesos, entre otros, los cuales buscan optimizar actividades como la planeación de la demanda, la forma de montar órdenes de compra, la estrategia para controlar el suministro, la logística de entregas y el manejo de inventario (Brennan, 1998).

En este orden de ideas, cabe preguntarse entonces acerca del estado de aplicación e implementación de procesos y tecnologías para la administración de la cadena de suministro de los hospitales a nivel mundial.

[1]Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, smelguiz@eafit.edu.co
[2] Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, jarrieta@eafit.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

Esta pregunta es a la que se intentará dar respuesta en este artículo, con el fin de orientar a los hospitales en las nuevas formas de operar para la optimización de recursos y aumentar la satisfacción del cliente.

2. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un proceso de búsqueda bibliográfica, con el fin de construir el estado del arte de las tendencias logísticas mundiales, teniendo en cuenta el significado de la logística hospitalaria y su flujo de información, como lo son: entradas, procesos y salidas. Se consultaron 84 publicaciones entre ellas proyectos de grado, artículos de revista y casos de estudio.

Posteriormente se realizó un recuento de las tendencias sin discriminar áreas, para luego clasificar los departamentos y subgrupos en los cuales se presentó más interés de investigación.

Finalmente, se plasmó una categorización de las metodologías encontradas, entre procesos y tecnologías, con el fin de conocer cuál de estas presenta mayor participación a nivel investigativo.

2.1. Clasificación por departamentos

El departamento a trabajar dentro del hospital es uno de los dilemas del sector salud, debido a que todos requieren de atención para aumentar eficiencia a un costo no muy alto, esta clasificación se basa en los temas tratados en cada una de las publicaciones encontradas:

- *Departamento general:* Abarca el hospital como un todo y no realiza aclaraciones de un departamento en específico. Las herramientas definidas en estas publicaciones pueden ser implementadas en cualquier sector del hospital.
- *Departamento almacén:* Incluye tanto el almacén central como los almacenes de piso.
- *Departamento emergencias:* Abarca lo relacionado al área donde se realiza un tratamiento inicial de pacientes que sufren de algún tipo de enfermedad o lesión y que requieren de atención inmediata.
- *Departamento de apoyo:* Todas aquellas áreas que de una u otra forma aportan para el buen funcionamiento del hospital (Cocina, zona de ropas etc.).
- *Departamento cuidado externo:* Este departamento incluye la nueva modalidad de hospitalización en casa, desde el manejo de inventarios para este tipo de cuidado hasta la logística para el monitoreo del paciente.
- *Departamento sala de cirugía:* Todas aquellas habitaciones esterilizadas en las que se llevan a cabo procedimientos quirúrgicos.

2.2. Clasificación por sub-grupos

Esta clasificación permite entender de una manera general las tendencias encontradas, se divide en tres categorías:

- *Inventarios:* Esta categoría contiene todas aquellas publicaciones en las que se hace referencia al manejo de inventarios, tanto en el almacén central como en los de piso.
- *Metodologías de mejoramiento continuo:* Este subgrupo contiene todos aquellos artículos en los cuales se implementan metodologías de mejoramiento en diferentes áreas del hospital.
- *Optimización:* Se entiende por optimización todos aquellos procesos de simulación y modelación matemática que pretenden definir valores numéricos o exactos de las diferentes variables usadas en el sector salud.

2.3. Categorización entre procesos y tecnologías

Esta categorización permite determinar si las tendencias halladas hacen parte del mejoramiento de procesos y/o tecnologías:

ISBN: 978-958-5430-49-5

- *Procesos:* Se encuentran aquellas tendencias que son aplicadas al mejoramiento de procesos y no necesariamente implican una inversión física.
- *Tecnologías:* Incluye aquellas tendencias que requieren de adquisición o modificación de hardware y/o software.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

En términos generales, la logística empresarial es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes (Ballou, 2004). No muy lejos de la logística empresarial, la cadena de suministro hospitalaria comparte muchas de sus características, especificando que es un sistema complejo que incluye el flujo de diferentes tipos de productos y la participación de productores, compradores y proveedores. El propósito principal de la logística hospitalaria, es despachar productos en un tiempo determinado con el fin de suplir las necesidades de quienes proveen el servicio (Callender, 2007).

Las actividades logísticas en hospitales implican la compra, recepción, gestión de inventarios, sistemas de gestión de la información, servicios de alimentación, transporte y servicios de atención domiciliaria (Aptel & Pourjalali, 2001). Estas actividades pueden ser clasificadas en tres grandes subsistemas: aprovisionamiento, producción y distribución (Ozores-Massó, 2014). Estos sistemas hacen parte de la logística interna de los hospitales, y es aquí donde se hace más significativo el control de los procesos para realizar una mejora sustancial de los recursos. Estos recursos presentan grandes retos para el sector hospitalario, ya que allí es donde se concentran los sobrecostos.

4. RESULTADOS

Siguiendo la metodología enunciada anteriormente, se logran analizar 84 artículos, a los cuales se les realizó la clasificación mencionada en la metodología. Los hallazgos se muestran en la Figura 1, donde se presenta el número de publicaciones por subgrupo, resaltando que las metodologías de mejoramiento continuo son la estrategia más usada para aumentar la eficiencia en los hospitales a nivel mundial.

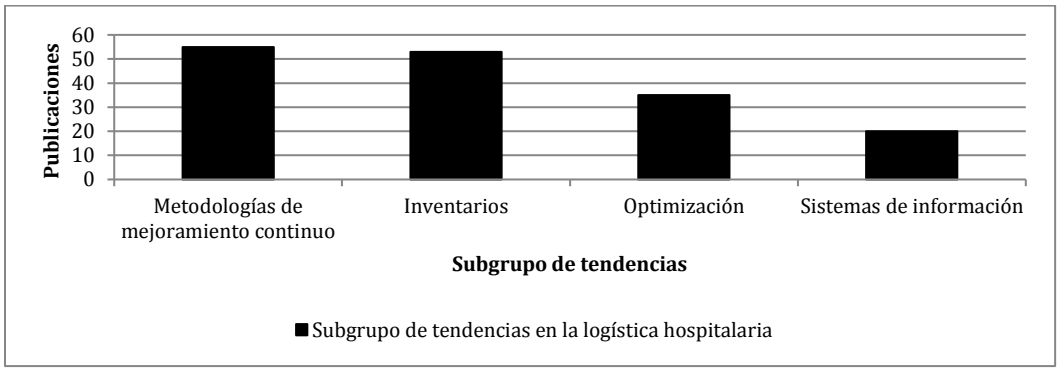


Figura 1. Número de publicaciones por subgrupo de tendencias

Por otro lado, en la Figura 2 se presenta la clasificación de documentos encontrados por departamento, lo cual permite concluir que las tendencias halladas fueron implementadas en su mayor parte en el departamento general, por lo cual podrían aplicarse en diferentes áreas del hospital.

ISBN: 978-958-5430-49-5

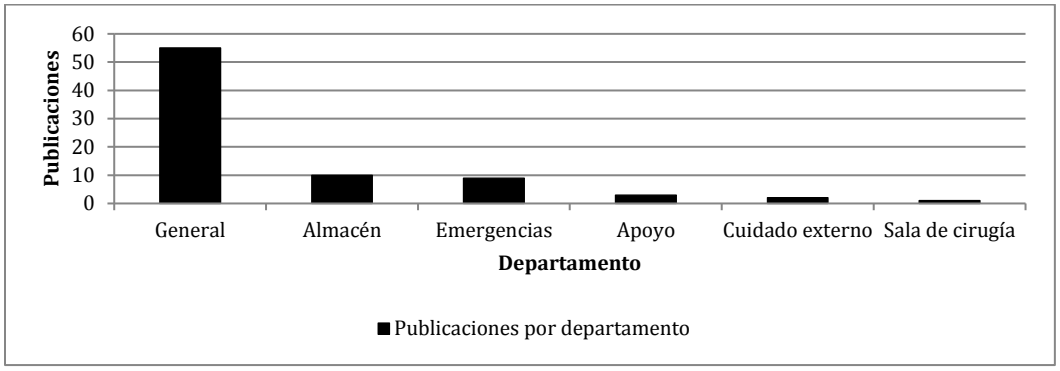


Figura 2. Número de publicaciones por departamento de tendencias

Uno de los intereses de esta investigación es determinar los países que se encuentran trabajando de manera más activa en la logística hospitalaria. En la Figura 3, se presentan la cantidad de publicaciones por país, allí puede evidenciarse que Estados Unidos y Reino Unido han realizado más publicaciones frente a estos temas. Sin embargo se encontraron que otros países cuentan con sólo una publicación, por lo que no se presentan en el gráfico.

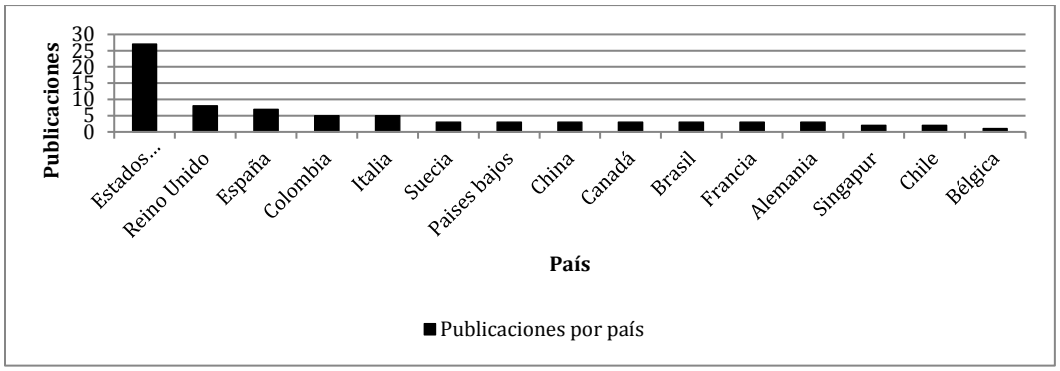


Figura 3. Número de publicaciones por departamento de tendencias

En la Tabla 1, se muestran algunas de las metodologías con las que el sector hospitalario ha buscado optimizar su cadena de suministro, desde 1995 hasta 2015. Entre estas se destacan manufactura esbelta y modelación matemática con 17 publicaciones, seguidas por estandarización de procesos con nueve y externalización de procesos y Justo a Tiempo con ocho publicaciones.

Tabla 1. Tendencias de la logística hospitalaria encontradas en el estudio

TENDENCIA USADA	NÚMERO DE PUBLICACIONES (1995-2015)
Modelación matemática	17
Manufactura esbelta	17
Estandarización de procesos	9
Externalización de procesos	8
***JIT* (Justo a tiempo)**	8
***RFID* (Identificación por Radio Frecuencia)**	7
Doble Cajón	6
***AGV* (Vehículos de conducción automática)**	5
***ERP* (Planificación de recursos empresariales)**	5
Automatización del abastecimiento	5
Simulación	5
Seis sigma	5

ISBN: 978-958-5430-49-5

TENDENCIA USADA	NÚMERO DE PUBLICACIONES (1995-2015)
EDI **(Intercambio de datos electrónico)**	5
Benchmarking	4
Sistema integrado de información	4
Centralización del abastecimiento	4
VMI **(Inventario manejado por el proveedor)**	4
Kaizen	3
Código de barras	3
Pronósticos	2
Teoría de restricciones	2
5S	2
Internet de las cosas	2
Kanban	2
Herramientas informáticas	1
EMRs (Sistema de registros médicos electrónicos)	1
RFCD (Radio frecuencia de captura de datos)	1
Innovación	1
Stockless	1
Built-in-quality	1
Cross-docking	1
Control de inventarios	1
Rutas de trasporte consolidadas	1
Cooperación entre hospitales	1
SPD **(Suministro, Procesamiento y Distribución)**	1
VSM **(Mapa de valor)**	1
ABM **(Gestión basada en actividades)**	1
Almacenamiento modular	1
Plataforma móvil (Automatización)	1
CPI **(Proceso de mejora continua)**	1
Puntos de vista logística	1
Legislaciones ambientales	1
Carros intercambiables	1
LMIS **(*Logistic management and information system*)**	1
Carruseles	1
Aumento de Capacidad	1
Alianzas estratégicas	1
SRC **(Aprovisionamiento por nivel o sistema de reposición continua)**	1
Modelo madurez de capacidad	1
Tecnología	1
Modelos de inventario	1
Acreditación de hospitales	1

ISBN: 978-958-5430-49-5

TENDENCIA USADA	NÚMERO DE PUBLICACIONES (1995-2015)
Análisis multi-criterio	1
***PDA* (Asistente digital personal)**	1
Layout	1

En la Tabla 1 se muestran algunas de las metodologías con las que el sector hospitalario ha buscado optimizar su cadena de suministro, desde 1995 hasta 2015. Entre estas se destacan manufactura esbelta y modelación matemática con 17 publicaciones, seguidas por estandarización de procesos con nueve y externalización de procesos y Justo a Tiempo con ocho publicaciones.

Partiendo de los resultados obtenidos en la Tabla 1, se realizó una categorización por los países que presentan interés en las diferentes tendencias, posteriormente se clasificaron procesos y tecnologías. Por ejemplo, la modelación matemática se encuentra en publicaciones de Alemania, Portugal, Canadá, Chile, Bélgica, China, Colombia, Francia, Estados Unidos, India, Países Bajos y Reino Unido, y hace parte de tecnologías por el hardware requerido para resolver el modelo y el sistema de información necesario para la recolección de datos; por otro lado, manufactura esbelta que se encuentra en publicaciones de Estados unidos, Suecia, Francia, Italia y Reino Unido, y conforma el subgrupo de procesos por ser una metodología de mejoramiento continuo. Esta clasificación pretende mostrar en qué proporción cada país ha abarcado cada una de estas categorías.

En la Figura 4 se presenta a modo comparativo el porcentaje de publicaciones enfocadas a tecnologías y el porcentaje orientadas a procesos de los diez países más relevantes del estudio.

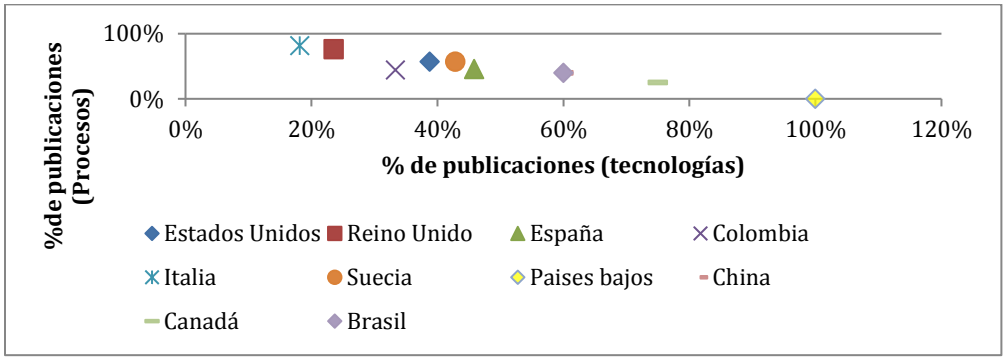


Figura 4. Comparativo entre tecnologías implementadas vs procesos implementados de los diez países más relevantes del estudio.

Se puede evidenciar, que algunos países enfocan sus esfuerzos investigativos a una de las dos clasificaciones, por ejemplo, Canadá se enfoca un 75% en tecnologías y un 25% en procesos, teniendo en cuenta que esto depende de las necesidades y recursos de cada país. No obstante, algunos otros países intentan cubrir tanto tecnologías como procesos entre ellos se encuentran Estados Unidos, Suecia, España y Colombia.

5. CONCLUSIONES

Según las publicaciones encontradas, se puede evidenciar que a través de los años crece el interés por la logística hospitalaria, debido a la necesidad que tiene el sector salud de ser más competitivo y lograr impactar positivamente la mayor cantidad de pacientes posible. Cada vez se piensa más en optimizar recursos y reducir defectos en los hospitales, lo que a largo plazo podría generar cambios en el sector salud en general. En este artículo se clasificaron las publicaciones encontradas con el fin de identificar los departamentos que presentan mayor interés en mejorar su rendimiento y los subgrupos en los cuales se implementan las tendencias. Se

ISBN: 978-958-5430-49-5

logra percibir que estas metodologías son aplicadas según los recursos y necesidades de cada hospital, evidenciándose en la proporcionalidad de publicaciones que se enfocan al mejoramiento de procesos y tecnologías.

La contribución de este artículo se centra en conocer e identificar el estado del arte de la logística hospitalaria, se encontró que los países que más interés han demostrado según la cantidad de divulgaciones, son Estados Unidos y Reino Unido con 17 y ocho publicaciones respectivamente; de la misma manera, se encontró que la manufactura esbelta y la modelación matemática son las tendencias logísticas que más se encuentran en la literatura las cuales se implementan en diferentes departamentos del hospital como: almacén, emergencias, cirugía, cuidado externo y de apoyo.

Estas metodologías encontradas, no son exclusivas del sector salud, también se encuentran aplicadas en el sector manufacturero, lo que prueba que se pueden realizar adaptaciones de las metodologías de mejoramiento según el campo de aplicación.

Este artículo conforma la base para futuras investigaciones, debido a que presenta un estado del arte de las tendencias logísticas más usadas a nivel mundial. En próximas investigaciones se pretende realizar un diagnóstico del estado de la logística hospitalaria en la ciudad de Medellín, con el fin de orientar a los hospitales locales en las nuevas formas de operar para la optimización de recursos y aumentar la satisfacción del cliente, además de dar recomendaciones al sector hospitalario en general y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

6. LISTA DE REFERENCIAS

Aptel, O. & Pourjalali, H. (2001). improving activities and decreasing cost of logistics in hospitals a comparision of us and french hospitals. *The International Journal of Accounting, 36*(1), 65-90.

Ballou, R. H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro.* México: Pearson Educación.

Brennan, C. D. (1998). Integrating the healthcare supply chain. *HFM (Healthcare Financial Management), 52*(1), 31.

Callender, C. (2007). Barriers and best practices for material management in the health care sector. Missouri, USA: University of Science and Technology.

Ozores-Massó, B. (2014). Logística hospitalaria: claves y tendencias de las operaciones logísticas en el sector hospitalario (Segunda). México, D.F.: Alfaomega.

Zona Logística. (2015, marzo). La salud en Colombia, una mirada logística, 83, 28-33.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

UBICACIÓN DE ALMACENAMIENTO BAJO UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN JIS PARA UNA EMPRESA DEL CLÚSTER AUTOMOTRIZ MEXICANO

Isidro Jesús González Hernández[1]
José Fabricio Ríos Fernández[2]
Edmundo Salazar Cornejo[3]
José Luis Martínez-Flores[4]

RESUMEN

Para la industria automotriz, satisfacer las demandas específicas de los clientes utilizando estrategias de diferenciación en el producto y servicio se ha convertido en el éxito en los mercados mundiales cada vez más competitivos. Por lo tanto, las capacidades logísticas y de administración de la cadena de suministro toman un papel fundamental para lograr una ventaja competitiva. Uno de los factores clave de éxito para las empresas automotrices es contar con proveedores nivel uno que tengan la capacidad logística de proveer la gran variedad de componentes Justo a Tiempo. El problema se modela como uno de Asignación de Ubicación de Almacenamiento (SLAP, por sus siglas en inglés) para una empresa proveedora de nivel uno con un sistema de producción Justo En Secuencia, (JIS, por su sigla en inglés *Just In Sequense*). Se utiliza software comercial para resolver el modelo y los resultados muestran una mejora en la operación logística del llenado de las líneas de producción de la empresa.

1. INTRODUCCIÓN

Con la constante innovación y clientes cada vez más exigentes, las empresas manufactureras requieren de estrategias que generen una ventaja competitiva con el fin de satisfacer las necesidades del cliente y competir en una economía más globalizada. Lo anterior ha generado que la mayoría de las empresas produzcan una gran variedad de productos y personalizados. Estos cambios han creado inevitables desafíos y nuevas cuestiones de optimización para todos los fabricantes. Debido a la intensa competencia, las empresas están buscando la eficiencia operativa a través de la Logística y Administración de la Cadena de Suministro (ACS), ya que gran parte de las empresas incluyen múltiples proveedores, múltiples fabricantes, múltiples clientes, varios productos a fabricar y problemas en condiciones de incertidumbre (Gholamian *et al.*, 2015; Mirzapour Al-e-hashem *et al.,* 2011).

Para la industria automotriz, satisfacer las demandas específicas de los clientes utilizando estrategias de diferenciación en el producto y servicio se ha convertido en el éxito en los mercados mundiales cada vez más competitivos. Por lo tanto, las capacidades logísticas y de administración de la cadena de suministro toman un papel fundamental para lograr una ventaja competitiva. Uno de los factores clave de éxito para las empresas automotrices es contar con proveedores nivel 1 que tengan la capacidad logística de proveer la gran variedad de componentes Justo a Tiempo que integran la fabricación de un automóvil, así como la capacidad de hacer frente al desarrollo del mercado y a la incertidumbre de la demanda (Meissner, 2010).

Los principales problemas a los que se enfrentan los proveedores nivel uno de la industria automotriz es: 1) la incertidumbre de la demanda (el corto tiempo en el cambio de la demanda), causando flujo de material de forma inestable, altos niveles de stock y mala ubicación del inventario (Meissner, 2010) programación de la producción, los proveedores nivel 1 se enfrentan al reto de producir las diferentes órdenes (tipo de producto y tamaño de lote) de la empresa automotriz, esto se vuelve un problema complejo ya que se debe determinar de forma eficiente la secuencia de producción para cada tipo orden, además de producir con una filosofía justo a

[1] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, isidrojesus.gonzalez@upaep.edu.mx
[2] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, josefabricio.rios@upaep.edu.mx
[3] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, edmundo.salazar@upaep.edu.mx
[4] Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, joseluis.martinez01@upaep.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

tiempo para cumplir con los plazos de entrega, por lo tanto, la programación de la producción trata de maximizar la eficiencia de las operaciones y reducir costos (Carvalho *et al.*, 2014; Çevik Onar *et al.*, 2016; Low *et al.,* 2014).

Bajo estas consideraciones, los proveedores de nivel 1 de la industria automotriz están utilizando el enfoque de control de la producción y logística por secuencia de órdenes estables para alcanzar sus objetivos, en otras palabras están utilizando la filosofía JIS, la cual consiste en el flujo de material sólo en secuencia para órdenes de producción y abastecimiento, lo anterior con el propósito de facilitar la producción en masa de componentes y productos personalizados de una manera rentable y mantener inventarios bajos. El sistema JIS debe contar con un sistema de información que integre a todos involucrados de la cadena de producción con el objetivo de proporcionar información en tiempo real sobre la demanda para que el proveedor 1 ejecute la producción sobre una base diaria que le permita programar la producción semanal (Meissner, 2010; Wagner & Silveira-Camargos, 2011; Infinity Technology/JIT & JIS).

Un factor importante que deben tomar en cuenta los proveedores de nivel 1, es la administración eficiente del inventario. En un entorno de almacenamiento dinámico, el flujo de material cambia dinámicamente debido a factores como la incertidumbre de la demanda, la variedad de productos y los ciclos de vida de los componentes (materiales). Por lo tanto, las políticas de almacenamiento influyen en la mayoría de los indicadores clave de rendimiento de un almacén como: tiempo, costo, productividad, nivel de inventario y precisión del envío. En este sentido, uno de los problemas de almacenamiento consiste en asignar de forma eficaz la ubicación de los elementos de entrada (artículos) para reducir los costos de manipulación, mejorar la utilización del espacio y minimizar el recorrido a la línea de producción (Chen *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2016).

Los métodos para la asignación de almacenamiento determinan cómo deben ser ubicados los artículos (partes de entrada) a los lugares de almacenamiento. Por lo anterior, este trabajo se centra en un Problema de Asignación de Ubicación de Almacenamiento (SLAP, por sus siglas en inglés) para una empresa proveedora de nivel uno perteneciente a la red de producción de una planta del clúster automotriz mexicano.

En la sección dos, se presenta una revisión de las modelos matemáticas que se han utilizado para resolver un SLAP; en la sección tres, se describe la problemática de la empresa objeto de estudio; en la sección cuatro, se presenta el modelo matemático propuesto para un SLAP; en la sección cinco, se presentan los resultados computacionales y finalmente las conclusiones.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Un atributo popular para asignar un elemento a una ubicación de almacenamiento es la relación de su espacio de almacenamiento requerido por su frecuencia de demanda, que también se denomina como "*cube-per-order-index*". Otro método de asignación de almacenamiento común es el almacenamiento basado en clases, que combina características aleatorias y ubicaciones cercanas. Aquí, los ítems se clasifican en una serie de clases, por ejemplo: A, B y C, donde los elementos de movimiento rápido son de clase A y suelen asignarse a lugares cercanos a la línea de producción o depósito. Otro método que puede ayudar a reducir las distancias de viaje es la asignación de almacenamiento correlacionada, donde los productos que a menudo se ordenan juntos se asignan a ubicaciones cercanas entre sí (Calzavara *et al.*, 2016).

Por lo tanto un SLAP se centra en minimizar la distancia total recorrida ponderada en función de la frecuencia desde las ubicaciones de almacenamiento hasta el área de *picking* o la línea de producción, sujeto a restricciones de correlación y restricciones basadas en casos específicos (Xie *et al.*, 2014).

Xie *et al.* (2014) resuelven un SLAP bajo restricciones de agrupación por algoritmos genéticos, para la formulación del problema se utiliza un modelo de programación lineal entera, cuyo objetivo es minimizar el costo total de desplazamiento de la frecuencia de *picking.* Chen *et al.* (2011) consideran un problema para determinar una estrategia de reubicación óptima en un entorno de almacenamiento dinámico, donde se asume un modo de comando único, en el que la máquina realiza una sola operación (almacenamiento o recuperación) en cada viaje, los autores proponen una formulación de programación lineal entera, cuya función objetivo es

ISBN: 978-958-5430-49-5

minimizar el tiempo total de re-ubicación, por lo tanto, desarrollan un método heurístico de dos etapas para generar una solución inicial y proponen un algoritmo de búsqueda tabú para mejorar la solución. Ene & Öztürk (2012) diseñaron un sistema de asignación de almacenamiento y selección de pedidos, utilizando un modelo matemático de programación entera y un enfoque de optimización evolutiva estocástica. La función objetivo minimiza el tiempo total de los recorridos para el almacenamiento y las órdenes de *picking* en el suministro de ensamblaje. Debido al tiempo computacional requerido para resolver el problema de programación entera, desarrollaron un algoritmo genético más rápido para formar lotes óptimos y rutas óptimas para la selección de pedidos.

Zhang *et al.* (2016) desarrollan un modelo de programación lineal entero mixto para formular una estrategia integrada que combina la asignación de ubicación de almacenamiento con el problema de tamaño de lote capacitado. La función objetivo minimiza el costo total de viaje, el espacio reservado para almacenamiento, la manipulación, la producción, el costo de mantener inventario y los costos de preparación. Sin embrago el problema con datos reales es una instancia a gran escala que está más allá de la capacidad de los solucionadores de optimización, por lo tanto, proponen un nuevo enfoque heurístico de relajación y fijación lagrangiana y sus variantes para resolver el problema a gran escala.

Wisittipanich & Kasemset (2015) desarrollan un modelo de programación entera mixta, cuya función objetivo es minimizar la distancia de desplazamiento total a lo largo de la distancia de desplazamiento de tres ejes: dos ejes horizontales y un eje vertical, sin embargo por el tamaño de la instancia presentan dos enfoques metaheurísticos para resolver el problema: a) Evolución Diferencial, y b) Búsqueda local Vecino más próximo.

Horta *et al.* (2016) en su artículo presentan un modelo de programación matemática, basado en una formulación de mínimos-máximos que devuelve el diseño optimizado de un almacén de *cross-docking* que alimenta una operación de distribución justo a tiempo. En este caso, el diseño requiere la asignación de espacios en el almacén de acuerdo a las demandas de los clientes. Por lo tanto, la función objetivo del modelo minimiza la distancia total recorrida en el almacén.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema es de una empresa ensambladora de módulos frontales de automóviles. Al ser una empresa JIS, su característica principal es que las partes (ítems) que se almacenan tienen vueltas de inventario de días, incluso de horas, es decir, las partes del ensamble permanecen muy poco tiempo en el almacén de la planta antes de ser montados al módulo y enviados a un cliente manufacturero de automóviles, en México.

La administración del almacén para controlar y asignar una ubicación del inventario considera las siguientes variables: tipo de empaque, frecuencia de llegada, cantidad máxima de material a almacenar y frecuencia de consumo en línea de producción.

La empresa no cuenta con un proceso definido y óptimo para asignar las ubicaciones de cada componente (artículo), ya que, la administración actual del almacén ubica al inventario de entrada a un espacio disponible o se reubica el inventario para habilitar espacios donde se pueda almacenar los componentes que recién llegan al almacén, el esquema del almacén se muestra en la figura 1.

ISBN: 978-958-5430-49-5

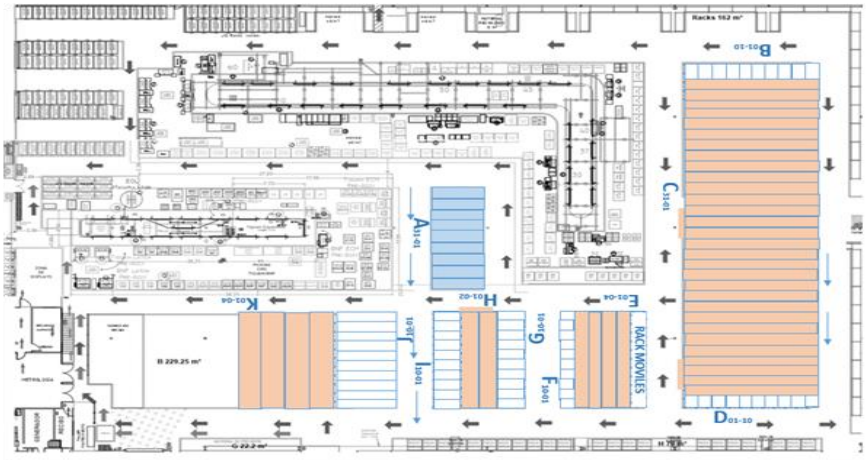


Figura 1. Layout del almacén

La empresa converge en problemas de retrabajos por reacomodo para habilitar posiciones donde se pueda ubicar el inventario de entrada (componentes) generando tiempos de retraso en la carga y descarga de los transportes en la zona de recibo o embarque. Una principales problemáticas es el área de *picking* (figura 1, área sombreada en azul), ya que en esta área se deben concentrar los 9 componentes que tienen mayor frecuencia de consumo en las líneas de producción, además deben estar ubicados (figura 1, área en rosa) lo más cerca posible del área de *picking* para minimizar las distancias de recurrido para surtir al *buffer*.

4. MODELO

El modelo desarrollado entrega una solución al problema de almacenamiento de una empresa "proveedor de nivel 1 con un sistema de producción JIS", de manera que asigna las ubicaciones de almacenamiento a los componentes de forma que minimice la distancia total de recorrido hacia el área de picking y la línea de producción.

En el SLAP de la empresa, se deben ensamblar 91 frontales con diferentes características, cada uno de éstos consta de una serie de diferentes partes (ítems) con sus propias frecuencias de consumo en el área de picking (AP), los cuales deben ser ubicados en un espacio específico del almacén. El almacén tiene J espacios y cada uno de los espacios consta de C capacidad de almacenamiento. Cada J está etiquetada con un número entero único de 1 a J. La distancia Dj desde J a AP se define como la distancia de Manhattan entre estos dos puntos, que puede ser calculada por Vl + Hl (Vl y Hl son la distancia vertical y horizontal entre la posición l y el punto de AP). Por lo tanto, el objetivo del problema es minimizar la distancia recorrida de la frecuencia de consumo.

4.1. Conjunto de índices

J: Conjunto de localizaciones del almacén, donde l ϵ J.

P: Frecuencia de consumo de la parte (ítem) i en el área de picking o línea de producción, i ϵ N.

Parámetros

Dj: Distancia entre la ubicación j y el punto de llegada del pedido (AP).

Variable de decisión

Xji: es igual a 1 si el ítem i está asignado a la ubicación j y 0 de lo contrario.

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$\text{Min } Z(x) = \sum_{l=1}^{L} \sum_{i=1}^{N} P_i * D_j * X_{ji} \qquad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ji} = 1, \qquad j = 1, \dots, J \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ji} = 1, \qquad i = 1, \dots, N \qquad (3)$$

$$X_{ji} \in \{0,1\} \qquad (4)$$

Ecuación 1. Modelo matemático propuesta

La función objetivo minimiza la distancia total de desplazamiento de la frecuencia de consumo en el área *de picking.* La distancia de la posición J al punto de *picking* se calcula por la distancia vertical y horizontal de estos dos puntos. La restricción (2) asegura que cada parte es asignada exactamente a una ubicación de almacenamiento. La restricción (3) asegura que una localización de almacenamiento está ocupada exactamente por una parte.

5. RESULTADOS

El modelo propuesto se utilizó para asignar la ubicación de nuevo (9) componentes que tienen la mayor frecuencia de demanda en el área de *picking* en el almacén de la empresa bajo estudio, el SLAP se resolvió utilizando el software Lingo 10.0, a continuación se presenta los resultados.

5.1. Comparación del estado actual con el modelo propuesto

Tabla 1. Ubicación actual de los nueve componentes con mayor frecuencia

ÍTEM	FRECUENCIA	UBICACIÓN ACTUAL	DISTANCIA POR FRECUENCIA
P1	92	1E-04	94.00
P2	50	1C-30	371.77
P3	40	1C-05	276.98
P4	38	1C-27	428.67
P5	32	1C-24	455.03
P6	17	1H-01	180.59
P7	17	1C-07	502.87
P8	14	1C-22	888.08
P9	12	1C-17	810.68
		Suma(recorrido total)	**4008.7**

Tabla 2. Propuesta de la nueva ubicación de los nueve componentes con mayor frecuencia

ISBN: 978-958-5430-49-5

ÍTEM	FRECUENCIA	NUEVA UBICACIÓN	DISTANCIA POR FRECUENCIA
P1	92	1H-01	55.41
P2	50	1C-24	315.56
P3	40	1K-02	95.63
P4	38	1C-23	382.36
P5	32	1C-15	327.89
P6	17	1K-01	107.36
P7	17	1H-02	111.77
P8	14	1C-14	627.79
P9	12	1C-05	720.46
		Suma(recorrido total)	**2744.23**

Con el modelo propuesto se optimiza el 31.54% de los recorridos de las ubicaciones hacia el área de *picking* considerando a los nuevo (9) productos que tienen mayor frecuencia de consumo en la línea de producción.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo, se investigó un Problema de Asignación de Ubicación de Almacenamiento (SLAP, por sus siglas en inglés), el problema se formula como un modelo de asignación para encontrar la ubicación óptima de artículos a un costo operativo mínimo. La instancia a resolver es un problema real de una empresa proveedora nivel uno de la industria automotriz, además de trabajar con un sistema de producción JIS.

Al aplicar el modelo en el área de *picking,* se obtuvo un ahorro de aproximadamente de 32% de los recorridos diarios de las ubicaciones al *buffer* (*picking*). La resolución del modelo demoró menos de un minuto, a pesar de ser un problema combinatorio. Esto muestra que el modelo puede ser aplicado en la empresa para tomar decisiones operativas de almacenamiento, debido al bajo tiempo computacional que demanda resolver la situación más compleja que ésta tiene.

LISTA DE REFERENCIAS

Calzavara, M., Glock, C., Grosse, E., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2016). Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. *Computers & Industrial Engineering* .

Carvalho, A., Scavarda, L. F., & Lustosa, L. (2014). Implementing finite capacity production scheduling: lessons from a practical case. *International Journal of Production Research , 52* (4), 1215-123.

Çevik Onar, S., Öztaysi, B., Kahraman, C., Yanık, S., & Senvar, Ö. (2016). A Literature Survey on Metaheuristics in Production Systems. *Operations Research/Computer Science Interfaces Series* , 1-22.

Chen, L., Langevin, A., & Riopel, D. (2011). A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. *Int. J. ProductionEconomics , 129*, 147–156.

Chen, L., Langevin, A., & Riopel, D. (2011). A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. *International Journal of Production Economics , 129* (1), 147–156.

Ene, S., & Öztürk, N. (2012). Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology , 60* (5), 787–797.

Gholamian, N., Mahdavi, I., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mahdavi-Amiri, N. (2015). Comprehensive fuzzy multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning decisions in a supply chain under uncertainty. *Applied Soft Computing , 37*, 585–607.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Horta, M., Coelho, F., & Relvas, S. (2016). Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. *Computers & Industrial Engineering , 101*, 1-9.

Infinity Technology / JIT & JIS. (s.f.). Recuperado el 30 de 10 de 2016, de Infinity Technology / JIT & JIS: http://www.infi2.com/jit-jis/

Low, C., Chang, C.-M., Li, R.-K., & Huang, C.-L. (2014). Coordination of production scheduling and delivery problems with heterogeneous fleet. *International Journal of Production Economics , 153*, 139-148.

Meissner, S. (2010). Controlling just-in-sequence flow-production. *Logistics Research , 2* (1), 45–53.

Mirzapour Al-e-hashem, S. M., Malekly, H., & Aryanezhad, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International Journal of Production Economics , 134* (1), 28-42.

Wagner, S., & Silveira-Camargos, V. (2011). Decision model for the application of just-in-sequence. *International Journal of Production Research , 49* (19), 5713–5736.

Wisittipanich, W., & Kasemset, C. (2015). Metaheuristics for Warehouse Storage Location Assignment Problems. *Special Issue on Logistics and Supply Chain Systems , 14* (4).

Xie, J., Mei, Y., Ernst, A., Li, X., & Song, A. (2014). A genetic programming-based hyper-heuristic approach for storage location assignment problem. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*.

Zhang, G., Nishi, T., Turner, S., Oga, K., & Li, X. (2016). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches. *Omega*.

Autorización y exención de responsabilidad

Los autores autorizan a IOCA a publicar el documento en las actas del congreso. Ni IOCA ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el documento.

ISBN: 978-958-5430-49-5

PRECEPTOS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN CONTRA CAÍDAS DE ALTURAS

Elías Alberto Bedoya Marrugo[1]

RESUMEN

El presente estudio tiene por objeto manejar los preceptos más específicos que trata la nueva exigencia legal en cuanto a la actividad de alto riesgo más ejecutada y relevante en el país: El trabajo en alturas. Para conseguir el objetivo se utilizó una metodología descriptiva documental, la cual se realizó a través de la recolección de información y observaciones en un universo de 40 empresas contratistas que realizan servicios relacionados con el trabajo en altura, de las cuales 25 participaron con cifras completas, durante los periodos 2010 a 2016. Teniendo en cuenta que un Programa de protección contra caídas de altura (PPCCA) tiene como meta primordial el preservar, mantener y mejorar la salud individual y colectiva de los trabajadores que realicen labores de este tipo con el riesgo de caídas, para lo cual el presente estudio justifica un programa que caracterice los procedimientos y herramientas para atender los factores de riesgos relacionados con las caídas o aquellos que surjan. Se halló que solo un 24% de las empresas evaluadas aplican un PPCCA, mientras las empresas que no lo han implementado mostraron falencias del 71% de actos inseguros y en su totalidad presentaron condiciones inseguras.

1. INTRODUCCIÓN

A tener en cuenta la misión de una empresa con características específicas donde se debe subir y bajar sobre niveles superiores a 1.5 metros (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009), es válido afirmar que en su mayoría las actividades de campo son desarrollados bajo operaciones de "trabajo en altura" (Ministerio de Trabajo, 2012), de esta manera se puede encontrar que es necesario establecer un Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas (Fasecolda, 2014); en el artículo tres, del anterior referente legal denominado "obligaciones de empleadores" se obliga a incluir en el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) (Bedoya, 2015), el Programa de Prevención y Protección Contra Caídas de conformidad con la normatividad mencionada (Echeverri & Yepes, 2011), así como las medidas necesarias para la identificación, evaluación y control de los riesgos asociados a la misma actividad (Bedoya, 2015). De igual forma este tipo de parámetros no es tan antiguo en Colombia desde el punto de vista legal (Legismovil, 2016), y en la que se podría afirmar que fue desde la puesta en marcha de la resolución 1409 de 2012 del Ministerio de Trabajo de Colombia, con el cual el país prioriza para que todas las empresas comprometan técnicas de trabajo seguro en alturas (Duarte Pico, 2015) dentro de sus sistemas de gestión (González, Bonilla, Quintero, Reyes & Chavarro, 2016) que para la realización de trabajos en alturas existen resoluciones que destacan y justifican la importancia de la seguridad (Pérez & Muñoz, 2011) y el bienestar de los trabajadores en relación al trabajo en altura (Garduño, Pulido & Delgado, 2008) y que hasta el día de hoy permanecen vigentes y en constantes cambios para su mejoramiento. Durante el año 2012 en Colombia, por accidentes de trabajo se presentaron 532 muertos registrados, 136 corresponden al sector inmobiliario, 125 al de la construcción, mientras que el de transporte, almacenamiento y comunicaciones arrojó un total de 78 víctimas mortales. También en trabajos de minería y canteras perdieron la vida 58 colombianos, lo que indica que en el país 44 personas murieron cada mes por accidentes de trabajo. Estas cifras forman parte de los reportes que las 10 Administradoras de Riesgos Laborales (ARL), cifras también manejadas por el Ministerio de Trabajo. (Ministerio del Trabajo, 2013). Es de resaltar también que uno de los diarios más sobresaliente del país en el año 2014 publicó en su sección de economía la siguiente información: Las actividades laborales que requieren de trabajo en alturas entre ellas la construcción, son las que mayor siniestralidad reportan (Fontaneda, González, Mariscal & García, 2008), y de acuerdo con el ministerio del Trabajo, en los últimos dos

[1] Fundación Universitaria Tecnológico COMFENALCO, Programa de seguridad e higiene ocupacional, Grupo CIPTEC, Cartagena, Bolívar, Colombia, ebedoya@tecnologicocomfenalco.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

años, murieron 1.283 personas por caídas; el informe de prensa también argumenta que en cuanto a accidentes mortales, durante el año pasado (2013) en Colombia, 755 personas murieron a causa de accidentes de trabajo, la mayoría de ellas, desarrollando actividades en alturas. La construcción, además de trabajo en alturas, conlleva riesgos como el eléctrico (Muñoz, 2015), caída de objetos contundentes (Rodríguez, Martínez & López, 2013), por excavación (Silva, 2001) y uso de maquinaria pesada (El Espectador, 2014).

En este estudio encontrará el análisis de 25 empresas que realizan trabajo en altura, conforme estadísticas de seguridad y referentes teóricos para el entendimiento de un PPCCA. Propósito del presente estudio es recopilar evidencia sobre el comportamiento de la seguridad industrial en empresas frente a la implementación de un programa de protección contra caídas PPCCA (Colmena Seguros, 2013), tema crítico para empresas que realizan trabajos por encima de 1.5 metros sobre un nivel inferior, con probabilidad de caídas.

2. METODOLOGÍA

Para poder llevar a cabo este estudio se aplicó metodología descriptiva documental, con recolección de información y observaciones en 40 empresas contratistas con actividades de trabajo en altura, de las cuales 25 entregaron cifras completas de su comportamiento de seguridad evaluando dichas acciones en personal operativo entre los años 2010 a 2016, guardando relación con el área de análisis de las empresas objeto de estudio e información entregada mediante observación directa y revisión documental como insumos de consultoría en seguridad industrial para la construcción de un programa de protección contra caídas de altura PPCCA.

3. RESULTADOS

Las empresas objeto de estudio poseen diferentes problemas que han afectado la integridad del trabajador y la productividad de la organización, entre estas la aparición de accidentes laborales en aumento en locaciones de trabajo en altura. Puesto que los accidentes laborales que presenta en esta empresa se dan por las causas básicas e inmediatas donde el empleado o el operario al interactuar con un medio de trabajo inseguro ocasionan el accidente, trayendo como consecuencias lesiones ósteo-musculares o golpes, heridas, además de incapacidades que afecta el rendimiento de la empresa. En su total se estudiaron 25 organizaciones con diferentes cifras presentados a continuación:

Tabla 1. Comportamiento de seguridad en empresas evaluadas

	Accidentes de trabajo en altura		Actos inseguros		condiciones inseguras	
Empresas con PPCCA	6	24%	451	29%	1	1%
Empresas sin PPCCA	19	76%	1126	71%	114	99%
Totales	25	1	1577	100%	115	100%

De las empresas evaluadas, solo 24% (6 de 25) poseen Programa de proteccion contra caidas y 76% de estas (19 de 25) no han implementao este programa presentando a la fecha 71% de los actos inseguros detectados en las investigaciones de seguridad; mientras las condiciones inseguras se redugeron a una minima expresion en las empresas que implemenetaron Programas de proteccion contra caídas.

Se tiene que la mayoría del personal accidentado tiene entre 21 y 28 años con el 69%, los cuales poseen menos experiencia en el ámbito laboral, le sigue con el 23% el personal de 28 a 36 años, sin embargo los trabajadores que poseen edades de los 43 a los 51 años que poseen gran experiencia en su oficio y/o en su ámbito laboral es del 8%, la cual es la edad menos accidentada. entendiendose que los trabajadores de 21 a 28 años necesitan más entrenamiento de trabajo en altura y riesgos especificos presentes en su labor.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Datos analizados indican un total de 25 accidentes laborales, en el cual las prevalencias fueron entre otras: cargos afectados ayudante de planta con 33%, aprendiz 22%, 75% de los afectados son trabajadores de la empresa, mientras el 25% restante pertenecen a contratistas, siendo el mes de octubre y abril los más accidentados con un 22.2% respectivamente, las heridas en extremidades con 66% son el tipo de lesión más común, seguido por la fractura con un 27%; se puede afirmar que es estos eventos estan directamente relacionados con actividades laborales en empresas que no cuentan con un programa de proteccion contra caidas que prevea la ocurrencia de estos (Bedoya, 2016).

Se tiene que entre las empresas estudiadas donde no se implementó el PPCCA en el año 2010 se halló una accidentalidad era del 5% y en el 2011 se mantiene con el 9%. Sin embargo a partir del año 2012 aumenta con un 10% de accidentalidad, en el 2013 aumenta aún más con el 15% aumentando al 20% en 2014 y 2015, con un nuevo incremento del 21 durante 2016. Por lo que se tiene que los trabajadores, no están teniendo en cuenta a los peligros y/o riesgos en los que están expuestos y trabajan de tal manera que exponen su integridad ante sucesos imprevisto que le pueda cambiar la vida de manera negativa.

3.1. Antecedentes relevantes para la implementación de un Programa de protección contra caídas

Bedoya (2016) realizó una investigación que tuvo como objetivo el lograr establecer el comportamiento de la accidentalidad de una empresa del sector metalmecánico en la ciudad de Cartagena, durante el periodo 2014, para el cual tuvo como base la utilización de métodos significativos y sustanciales como, la revisión de datos de accidentalidad de una empresa metalmecánica durante el año 2014, junto a una discriminación de los tipos de accidente y características de los cargos, clase y tipo de vinculación de los afectados, tipos de lesiones, mecanismos de la lesión y accidentes incapacitantes, accidente por cargo, antigüedad y lugar de ocurrencia.

La investigación evidenció que los riesgos prioritarios de las construcciones son, en orden de mayor a menor grado de repercusión: el ruido, los sobreesfuerzos, las temperaturas extremas, los movimientos repetitivos y caídas en alturas. El accidente más común son los golpes, y el trabajo de más alto riesgo es el realizado en alturas, presentado en el 84% de obras. Esta información se relaciona mucho con la actual investigación, específicamente en el momento de identificar como se ha afectado la seguridad y accidentalidad en la empresa.

3.2. Conceptos de interés para un programa de protección contra acidas de altura PPCA

- **Accidente de trabajo,** suceso repentino que sobreviene por causa o con ocasión del trabajo, y que produce en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, incluso fuera del lugar y horas de trabajo. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2010), es menester también agregar las definiciones citadas por el ministerio de trabajo suscrito en la ley 1562 de 2012 donde complementa: “El accidente de trabajo todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte”.

“Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o contratante durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aún fuera del lugar y horas de trabajo”.

“Igualmente se considera accidente de trabajo el que se produzca durante el traslado de los trabajadores o contratistas desde su residencia a los lugares de trabajo o viceversa, cuando el transporte lo suministre el empleador”.

“También se considerará como accidente de trabajo el ocurrido durante el ejercicio de la función sindical, aunque el trabajador se encuentre en permiso sindical siempre que el accidente se produzca en cumplimiento de dicha función”.

De igual forma se considera accidente de trabajo el que se produzca por la ejecución de actividades recreativas, deportivas o culturales, cuando se actúe por cuenta o en representación del empleador o de la empresa usuaria

ISBN: 978-958-5430-49-5

cuando se trate de trabajadores de empresas de servicios temporales que se encuentren en misión (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación , 2010, p.1).

- **Certificado de capacitación:** "Documento que se expide al final del proceso en el que se da constancia que una persona cursó y aprobó la capacitación necesaria para desempeñar una actividad laboral. Este certificado no tiene vencimiento" (Ministerio de Trabajo, 2012, P.5). En otras palabras, es el documento donde se le reconoce al trabajador los conocimientos y habilidades adquiridas durante su experiencia laboral o bien sea como resultado de aprobar un curso de formación.
- **Certificación para trabajo seguro en alturas:** "Certificación que se obtiene mediante el certificado de capacitación de trabajo seguro en alturas o mediante el certificado en dicha competencia laboral" (Ministerio de Trabajo, 2012). Regularmente este certificado se puede conseguir en varias categorías o niveles, y algunos de ellos de forma virtual, pero en su mayoría se obtienen de forma presencial siendo en mayor porcentaje en horas prácticas.
- **Elemento de protección personal (EPP):** "Dispositivo que sirve como barrera entre un peligro y alguna parte del cuerpo de una persona" (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2010).
- **Equipo de protección contra caídas certificado:** "Equipo que cumple con las exigencias de calidad de la norma nacional o internacional que lo regula, sin que este último pueda ser menos exigente que el nacional" (Ministerio de Trabajo, 2012). Los equipos de protección contra caídas brindan la ventaja de realizar operaciones que permanentemente se encuentran bajo riesgo de manera confiable, donde el trabajador se sentirá a gusto y podrá realizar las actividades sin problemas, de tal forma el personal debe saber completamente su funcionamiento es decir debe estar calificado para su manipulación.
- **Incidente:** "Evento(s) relacionado(s) con el trabajo, en el (los) que ocurrió o pudo haber ocurrido lesión o enfermedad (independiente de su severidad) o víctima mortal" (Norma Técnica Colombiana OHSAS 18001, 2007, p. 3), la anterior descripción tiene además en cuenta situaciones como: a) un accidente es un incidente que da lugar a una lesión, enfermedad o víctima mortal", b) un incidente en el que no hay como resultado una lesión, enfermedad ni víctima mortal también se puede denominar como "casi-accidente" (situación en la que casi ocurre un accidente), c) una situación de emergencia es un tipo particular de accidente, d) "Para efectos legales de investigación, tener en cuenta la definición de incidente de la resolución 1401 de 2007 del Ministerio de Protección Social o aquella que la modifique, complemente o sustituya" (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación , 2010, p. 2).
- **Medida(s) de control:** "Medida(s) implementada(s) con el fin de minimizar la ocurrencia de incidentes" (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2010, p. 2). Las medidas de control pueden reconocerse por ser paramentos preventivos, que evitan que el trabajador expuesto a riesgo sea factor de ocurrencia de un incidente, se trata en lo posible con las medias de eliminar o prevenir cualquier tipo de riesgo capaz de generar un incidente.

Como antecedente inicial en relación de riesgos de caída en Colombia se puede mencionar la resolución 2413. Art. 40 y 41. Medidas para disminuir los riesgos de caída libre de altura. esta resolución tiene como objetivo principal la disminución y control de cualquier evento fatal durante el desarrollo de las actividades de trabajo en altura con riesgo de caída, es decir implementar paso a paso medidas de contingencia que ayuden a mitigar o evitar la ocurrencia de tal evento, exponiendo de manera acertada la idea más práctica y segura de cómo se debe operar de manera segura y evitar calamidades, desde la inspección de herramientas hasta la operación de tareas por parte de los trabajadores.

En cuanto al aspecto legal se pueden considerar decisivos y útiles para el establecimiento de un programa de protección contra caídas con baremo a nivel nacional la resolución 1409 de 2012, que es la norma rectora que establece el reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas y aplica a todos

ISBN: 978-958-5430-49-5

los empleadores, empresas, contratistas, subcontratistas y trabajadores de todas las actividades económicas de los sectores formales e informales de la economía que desarrollen trabajo en altura con peligro de caídas y en la que para sus efectos de aplicación de la presente resolución, se enfrentará a su obligatoriedad en todo trabajo en el que exista el riesgo de caer a 1.50m o más sobre un nivel inferior, la cual indica de manera general los pormenores de un programa de esta naturaleza y menciona por primera vez actividades de protección contra caídas de altura, mientras a su vez otra resolución como la 1903 de 2013 que modifica el numeral 5° del artículo 10 y el parágrafo 4° del artículo 11 de la Resolución 1409 de 2012 y se dictan otras disposiciones; teniendo en cuenta que en la resolución 1409 no se tuvo en cuenta algunos factores, el ministerio del trabajo realiza una modificación conforme a lo estipulado en el numeral 5 del artículo 10, donde se establece a las personas que se involucran directamente con tareas y/o actividades referentes al trabajo seguro en alturas como objeto de capacitación. también que los aprendices de las instituciones de formación para el trabajo y el Sena, tendrán que ser formados y certificados en el nivel avanzado de trabajo seguro en alturas. En otro orden de requerimientos las normas expedidas por autoridades como el ministerio de trabajo y presidencia de la republica han formado preceptos útiles que validan, justifican y dan real obligatoriedad a lo prescrito por las normas de protección contra caídas en el país, normativas tales como la Ley 9ª (enero 24 de 1979) título III salud ocupacional concebida para la adopción de medidas sanitarias expedidas por el Ministerio de Salud, que menciona sobre elementos de protección personal tomada como referente acorde a las normas más antiguas y con alto grado de relevancia para nuestro país, en los artículos ya mencionados, se encuentran los deberes y derechos de los empleadores y empleados, y también algunos cuidados que se deben tener en las industrias a nivel de higiene y seguridad industrial teniendo en cuenta. En el mismo año se publicó la resolución 2400 del 22 de mayo de 1979, título I y II. Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo. tiene como objetivo conservar y sustentar la salud física y mental, también se fundamenta en la prevención de accidentes y enfermedades profesionales de tal forma alcanzar optimizar las condiciones de higiene y bienestar de los empleados en sus diferentes actividades; está también acude a las obligaciones tanto de los empleadores como la de los empleados, y se toca de forma concisa la higiene que se debe mantener en los puestos de trabajo, mientras que a partir del año 2008 aparece una de las primeras normas que versó sobre protección contra caídas, bajo la figura de la resolución 3676, reemplazada en el año 2012 por otra resolución denominada 1409, que implementó el reglamente técnico de protección contra acidas de altura en el país con determinaciones de obligado cumplimiento, consigo y luego de un corto lapso tiene lugar la Resolución 2578 de 2012, por la cual se establecen lineamientos para el cumplimiento de la Resolución número 1409 del 23 de julio de 2012, anteriormente mencionado, con la pretensión de apoyar y fortalecer el cumplimento de las nuevas normas de protección contra acidas y se formulan nuevas obligaciones y requerimientos para empleadores y trabajadores, bajo la figura del programa de protección contra caídas. De igual modo la resolución 3368 de 2014, produciendo aportes y modificaciones a la resolución del reglamento que apunten al mejoramiento continuo y buscando obtener un perfil más completo para toda aquella persona que realice labores de trabajo en altura, y aquellos que coordinen este tipo de trabajo al ser delegados por el empleador y que indudable tiene un lugar de preferencia en el sistema de gestión y salud en el trabajo (SG-SST) el cual tiene por precepto las medidas de prevención. Conjunto de acciones individuales o colectivas que se implementan para advertir o evitar la caída de personas y objetos cuando se realizan trabajos en alturas y forman parte de las medidas de control. Entre ellas están: sistemas de ingeniería; programa de protección contra caídas y las medidas colectivas de prevención, que las Medidas de protección. “Conjunto de acciones individuales o colectivas que se implementan para detener la caída de personas y objetos una vez ocurra o para mitigar sus consecuencias”. (Ministerio de Trabajo, 2012).

Dependientes de lo dispuesto en las normas de trabajo en altura aparecen conceptos como persona calificada Ingeniero con experiencia certificada mínimo de dos años para calcular resistencia material, diseñar, analizar, evaluar, autorizar puntos de anclaje y elaborar especificaciones de trabajos, proyectos o productos acorde con lo establecido en la presente resolución. La persona calificada es la única persona que da la autorización a un punto de anclaje sobre el cual se tengan dudas, mientras que un sistema de protección de

ISBN: 978-958-5430-49-5

caídas certificado, que consolida un conjunto de elementos y/o equipos diseñados e instalados que cumplen con las exigencias de calidad de la norma nacional o internacional que lo regula, y aprobado por una persona calificada si existen dudas. En ningún momento, el estándar internacional puede ser menos exigente que el nacional" (Ministerio de Trabajo, 2012).

4. DISCUSIÓN

Con respecto a los análisis de los sucesos que se ha presentado dentro de las actividades y/o tareas que realiza el empleado dentro de sus actividades cotidianas laborales se deberá tener en cuenta la necesidad de capacitar y entrenar logrando disminuir así la accidentalidad (Bedoya, 2015).

De las empresas evaluadas, la ausencia del PPCCA en 76% deben ser objeto de priorización en mejoras de las condiciones inseguras tal como lo indican Duarte (2015) e igualmente el Ministerio de Trabajo (2012).

Las mencionadas empresas consideradas de alto riesgo por el Ministerio del Trabajo (2013), han de ajustarse dentro de sus sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, que requiere que estos sean consignados dentro de dichos sistemas para su efectiva ejecución y seguimiento coincidiendo con González, Bonilla, Quintero, Reyes & Chavarro (2016), no dejando de ser relevante ratificar que aunque no se presentaron muertes por este tipo de trabajos son objeto de constante revisión por parte delas administradoras de riesgos ARL (Ministerio de Trabajo, 2013).

5. CONCLUSIONES

El programa de protección contra caídas tiene una evolución de siete años para procurar el manejo administrativo que suple las condiciones de peligro relacionados con caídas de altura. Por ello el personal de trabajo deberá ser capacitado y entrenado sobre las funciones que deberá cumplir al desarrollar tareas sobre 1,5 metros o más de altura. Es de obligado cumplimiento y además realizar inspecciones periódicas a los lugares de trabajos además de las maquinarias y herramientas que utilicen los trabajadores. De las empresas evaluadas, solo 24% poseen programas de protección contra caídas y 71% de los actos inseguros detectados tienen origen en concepciones erradas de seguridad de los trabajadores o actuaciones que revelan poco entrenamiento de trabajo en altura y exposición a riesgos específicos presentes en su labor. Se debe tener especial cuidado al personal con edades entre 21 y 28 años pues son los más susceptibles accidentarse en labor de altura.

LISTA DE REFERENCIAS

Bedoya, E. (2015). *Manual de trabajo en altura.* Cartagena, Colombia: Alfa Omega.

Bedoya, E. (2015). *Sistema de riesgos laborales Colombia y otros países.* Cartagena, Colombia: Alfa Omega.

Colmena Seguros. (2013). *Trabajo en Alturas*. Recuperado desde: https://www.colmenaseguros.com/arl/gestion-conocimiento/material-educativo/Boletines/ABRIL-2013-TRABAJO-EN-ALTURAS.pdf

Duarte, G. (2015). ¿Trabajo seguro en alturas? *Tecnológica FITEC,* 151-156.

Echeverri Urquijo, H. A., & Yepes Palacio, D. L. (2011). Factores de riesgo en obras de construcción del área metropolitana del valle de Aburrá-Colombia. *Revista Politécnica, 7*(12), 71-80.

El Espectador. (Julio de 2014). *Trabajo en alturas, con alta siniestralidad.* (R. d. Economía, Editor) Recuperado desde: http://www.elespectador.com/noticias/economia/trabajo-alturas-alta-siniestralidad-articulo-507879

Escuela Colombiana de Ingeniería (Febrero de 2009). *Protocolo de trabajo en alturas.* Recuperado desde: http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/ERGO/TRABAJO%20EN%20ALTURA.pdf

ISBN: 978-958-5430-49-5

FASECOLDA. (Abril de 2014). *Colombia continúa trabajando por mitigar la accidentalidad en trabajos de alto riesgo.* Recuperado desde: http://www.fasecolda.com/index.php/sala-de-prensa/noticias/2014/sector-abril-24-2014.

Fontaneda, I., Gonzalez, Mariscal, M. & García, H. (2008). Gravedad de los accidentes laborales en el sector de la construcción a determinadas horas y según el día de la semana. *XIV Congreso de Ingeniería de Organización* (págs. 602-608). Donostia- San Sebastián , September 8th: ADINGOR.

Garduño, M. d., Pulido, M., & Delgado, G. (2008). *Accidentes de trabajo atendidos en una Institución para población abierta.* México D.F. Salud de los Trabajadores, 5-15.

González, A., Bonilla, J., Quintero, M., Reyes, C. & Chavarro, A. (2016). Análisis de las causas y consecuencias de los accidentes laborales ocurridos en dos proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción,* 5-16.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (diciembre de 2010). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud en el trabajo. Guía Técnica Colombiana GTC 45. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia: ICONTEC.

Legismovil. (junio de 2016). www.legismovil.com. Obtenido de www.legismovil.com: http://www.legismovil.com/home3.asp

Ministerio de Trabajo. (julio de 2012). *Resolución 1409. Titulo I.* Santa fe de Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Diario Oficial No. 48.517 de 9 de agosto de 2012.

Ministerio del Trabajo. (junio de 2013). *En Colombia 44 personas murieron al mes por accidentes de trabajo:* Gobierno. (C. Radio, Ed.) Recuperado desde MinTrabajo: http://www.mintrabajo.gov.co/medios-junio-2012/1980-en-colombia-44-personas-murieron-al-mes-por-accidentes-de-trabajo-gobierno.html

Muñoz, C. A. (2015). Estudio de accidentes eléctricos y peligro del arco eléctrico. Introducción a un programa de seguridad eléctrica. *Ciencia & Trabajo,* 122-127.

Pérez, M. M. & Muñoz, A. M. (2011). Caracterización de la accidentalidad laboral reportada por las empresas afiladas a una Administradora de Riesgos Laborales ARL. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública,* 67-75.

Rodríguez, I., Martínez, M., & López, M. (2013). El riesgo percibido por el trabajador de la construcción: ¿qué rol juega el oficio?, *Revista de la Construcción, 12*(3), 83-90.

Silva, M. A. (2001). Los riesgos del trabajo en la construcción. Los casos de Rosario y Montevideo. *Economía, Sociedad y Territorio*, 3(10), 291-319. http://dx.doi.org/10.22136/est002001356

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS CLAVE EN EMPRESAS DE SERVICIOS INTENSIVOS EN CONOCIMIENTO

Stephania Corral-Escobosa[1]
Alonso Pérez-Soltero[2]
José Luis Ochoa-Hernández[3]
Mario Barceló-Valenzuela[4]

RESUMEN

Actualmente las empresas enfrentan un incremento y expansión en la generación de conocimiento, es preciso reconocer que, si este no es gestionado eficientemente y no está disponible para su utilización en el momento adecuado, puede perder todo o gran parte de su valor. Este trabajo tiene como objetivo presentar una propuesta metodológica para la identificación y documentación del conocimiento de los procesos clave que se desarrolla especialmente para empresas de servicios intensivos en conocimiento, en particular, en este trabajo interesa estudiar las que ofrecen servicios de consultoría. Dicha metodología se exhibe con sus diversas fases, actividades y productos, así mismo, es antecedida por los elementos conceptuales que permiten dar sustento suficiente a su concepción y posterior implementación.

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas de servicios intensivos en conocimiento (SIC) desempeñan un trabajo que es realizado por profesionales con alto nivel de conocimientos y experiencia, así mismo, interactúan con clientes de diferentes tipos, situaciones y problemas, por lo que suelen dar soluciones basadas en la personalización. Diversos estudios indican que los SIC, tales como la consultoría, han crecido rápidamente, sin embargo, en la medida en que la intensidad de conocimiento va en aumento, se enfrentan a diferentes desafíos y se ve opacada su calidad. Este tipo de empresas están inmersas en un entorno complejo por varias situaciones: la globalidad de los mercados, la creciente competitividad y, principalmente, por la naturaleza de sus servicios, los cuales, a pesar de formar parte de un portafolio predefinido, la mayoría de las veces deben ser adaptados a situaciones muy específicas, de manera que se requiere de la experiencia y el conocimiento de los consultores. Esta situación origina la necesidad de que el conocimiento sea codificado para que pueda fungir como base para desarrollar la mejor solución a cada cliente.

El uso del conocimiento codificado brinda la oportunidad de hacer frente a situaciones relativamente sencillas, la base generada se suele simplificar y generalizar para su amplia aplicación, sin embargo, es probable que no sea suficiente para desarrollar una solución altamente personalizada. Por ello, resulta relevante encontrar formas de documentación que permitan capturar y mantener vivo el contenido de los elementos del conocimiento en este tipo de empresas.

2. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se explican los principales temas relacionados con empresas de SIC, procesos clave, identificación y documentación del conocimiento, así como otros relevantes para la metodología propuesta.

[1] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, stephaniaescobosa@gmail.com
[2] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, aperez@industrial.uson.mx
[3] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, joseluis.ochoa@industrial.uson.mx
[4] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, mbarcelo@industrial.uson.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.1. Servicios intensivos en conocimiento

Los SIC se definen tomando en consideración dos características fundamentales: i) la forma en que se presentan los servicios, es decir, se requiere la acción del prestador, la presencia del consumidor y, además, la participación activa del cliente para que tales servicios produzcan efecto; y, ii) el papel como agentes de innovación en términos de reingeniería del conocimiento (García & Mas, 2006). Apostolou & Mentzas (1999) afirman que, orientada al servicio, las empresas intensivas en conocimiento comparten características comunes: i) sus productos intangibles; ii) su proceso de produccción no es estandarizado y se basa en el trabajo en equipo; iii) la mayoría de sus empleados son educados y creativos; iv) sus clientes son tratados de forma individual; y, v) sus productos se adaptan a las necesidades de los clientes.

Summerhayes & Luo (2006) postulan que las empresas de consultoría son un buen ejemplo de empresas de SIC, ya que dependen en gran medida de la experiencia de su gente, se centran en las relaciones con sus clientes, emplean arquitecturas de red, la naturaleza de su trabajo se basa en proyectos, y hacen hincapié en la aplicación de la creatividad para resolver los problemas de los clientes. Creplet *et al.* (2001) resaltan que, a primera vista, estas empresas llevan a cabo una actividad principal: la solución de problemas que surgen en las empresas de sus clientes; por lo tanto, su finalidad consiste en utilizar el conocimiento que poseen para poder satisfacer las necesidades de sus clientes.

2.1.1. El conocimiento en los SIC

El conocimiento se define como "un proceso humano dinámico de justificación de la creencia personal en búsqueda de la verdad" (Nonaka & Takeuchi, 1995). Hoy en día, este es la clave para la creación de valor en la mayoría de las industrias, las empresas de consultoría no son la excepción, debido a que el conocimiento generado y compartido representa su servicio básico (Ambos & Schlegelmilch, 2009), de hecho, es el recurso que venden, y lo más valioso que pueden ofrecer a sus clientes es el conocimiento colectivo e institucional que poseen (Dunford, 2000).

Janicot & Mignon (2012) indican que el conocimiento en la consultoría existe en varias formas dependiendo de las características de los compromisos (estándar o específico), el sector involucrado (industrial, comercial o servicios), segmentos de clientes (empresas pequeñas, medianas o grandes), y el tipo de servicios de consultoría (gestión, general, jurídico, financiero, etc.). Werr & Stjernberg (2003) presentan los tres elementos básicos del conocimiento en empresas consultoras: métodos y herramientas, casos, y experiencia.

Prado *et al.* (2013) exponen que las empresas de SIC desarrollan condiciones para gestionar el conocimiento organizacional y para generar capacidades que favorezcan la renovación de competencias en entornos inciertos y dinámicos. Diversos autores han señalado que el conocimiento es dinámico debido a que cambia constantemente mediante la experiencia y el aprendizaje (Stewart, 2001; Nonaka *et al.*, 2000). Por lo tanto, esta naturaleza dinámica del conocimiento lleva a la cuestión de cómo algo en proceso de cambio, en movimiento y en acción, se puede controlar (McInerney, 2002).

2.2. Gestión del conocimiento y procesos clave

La gestión del conocimiento (GC) es una mezcla fluida de experiencias enmarcadas, valores, información contextual y puntos de vista de expertos, utilizados para probar nuevas experiencias e información (Alawneh *et al.*, 2009). Pérez-Soltero (1997) hace énfasis en la importancia de identificar el (los) proceso(s) clave de una empresa que contenga conocimientos relevantes para gestionarlos. Aguilar (2013) define un proceso como el conjunto de actividades mutuamente relacionadas que transforman insumos en resultados, específicamente, indica que los procesos clave son aquellos que permiten generar el producto o servicio que se entrega al cliente, por ende, el núcleo del negocio. Por tanto, su correcta identificación y gestión permitirá producir diversas ventajas para la empresa.

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.3. Identificación del conocimiento

La identificación del conocimiento se refiere a la detección y localización del conocimiento de una empresa, significa el análisis y descripción del entorno de conocimiento (Pérez-Soltero *et al.*, 2013). Dalkir (2011) resalta que dentro de los pasos clave involucrados en la adquisición del conocimiento a nivel individual y grupal, se encuentra la identificación, al cual suceden la conceptualización y la codificación.

2.4. Documentación del conocimiento

La documentación del conocimiento, también referida como codificación, es vista como una etapa de aprovechar el conocimiento que, al ser convertido en una forma tangible, explícita como un documento, puede ser comunicado ampliamente y a un menor costo (Dalkir, 2011). Lowendahl *et al.* (2001) indican que la codificación es una parte fundamental de las estrategias para las empresas de consultoría que tienen la intención de aumentar la capacidad de respuesta, la calidad de sus servicios y la dimensión cognitiva de la solución a los problemas de sus clientes, ya que estas tienen un fuerte vínculo con el conocimiento experto enraizado en los servicios o productos intangibles y su competitividad.

En el sector de la consultoría se tiende a optar por las dos estrategias de GC: codificación y personalización (Janicot & Mignon, 2012); Ambos & Schlegelmilch (2009) han encontrado que en estas empresas puede darse una combinación de estas en proporciones 60-40 y que, como tienen la particularidad de que ningún proyecto ejecutado es igual, una perspectiva diferenciada conduciría a un mejor desempeño utilizando diferentes estrategias de GC durante las fases que conforman un proyecto. Janicot & Mignon (2012) exponen que un elemento de conocimiento codificado se origina en alguna parte de la organización, una vez identificado se formaliza, almacena, indexa y se distribuye. Los autores presentan un modelo para la codificación del conocimiento en consultoría (véase figura 1).

Figura 1. Modelo de los ejes de mejora para la codificación del conocimiento de los consultores

		Valor en el tiempo	Valor cognitivo
Tecnologías integradoras	Documentos electrónicos, bases		
Tecnologías interactivas	Espacios de trabajo personales		
	Espacios de trabajo colectivos		

Fuente: Janicot & Mignon (2012)

El modelo propuesto por Janicot & Mignon (2012), se basa en los conceptos del valor del tiempo y el valor cognitivo además, distingue dos tipos de tecnología de codificación: integradora (red de bases de conocimiento e interactiva (espacios de trabajo compartidos); y, para cada una de las intersecciones de estos elementos hacen una serie de sugerencias de mejora tanto para la duración de los servicios, como para el contenido de estos. Después de haber validado su modelo, los autores concluyen que una estrategia de codificación se traduce en una mejora general del valor temporal del servicio y una mejora parcial pero prometedora del valor cognoscitivo del mismo.

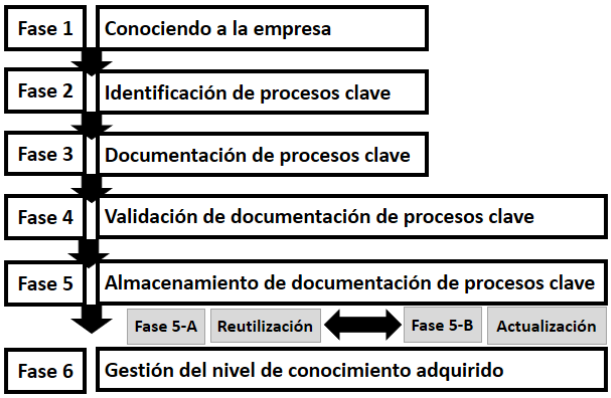
3. METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS CLAVE EN EMPRESAS DE SIC

Para plantear la metodología propuesta, se siguió un enfoque metodológico basado en una revisión de la literatura que consistió en identificar, obtener y analizar información de diversos autores sobre conceptos relacionados con la temática, para posteriormente detectar áreas de oportunidad que pretenden ser abordadas en este estudio.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Como resultado de la revisión de diversas discusiones, modelos y propuestas que atañen a nuestro objeto de investigación, se ha identificado que la documentación del conocimiento en sectores específicos es un tema que no se ha desarrollado lo suficiente. De hecho, sólo se encontró un modelo para la codificación del conocimiento en consultoría, el cual fue propuesto por Janicot & Mignon (2012) tratando elementos muy específicos sin tener en cuenta otros que repercuten antes, durante y después de dicho proceso. En la figura 2 se muestra el esquema de la metodología propuesta para la identificación y documentación del conocimiento de los procesos clave en empresas de SIC.

Figura 2. Metodología para la identificación y documentación del conocimiento de los procesos clave



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explican cada una de las fases, su propósito, actividades subsecuentes y los productos esperados después de implementarse.

Fase 1. Conociendo a la empresa

- ***Propósito:*** Conocer a fondo la empresa, las generalidades que la definen, sus productos y clientes, qué papel juegan los poseedores del conocimiento y cómo se maneja este dentro de la misma.
- ***Actividades:*** 1) Identificar las generalidades de la empresa. Se procede con la recopilación de la documentación existente y con una entrevista al responsable del proyecto en la empresa; 2) Involucrarse en actividades de la empresa. Se deben llevar a cabo visitas periódicas, participar en eventos informativos y capturar sistemáticamente los hallazgos.
- ***Producto:*** Informe de evaluación inicial.

Fase 2. Identificación de procesos clave

- ***Propósito:*** Identificar aquellos procesos que permiten generar el producto o servicio que se entrega al cliente, para posteriormente identificar los elementos del conocimiento con que cuenta.
- ***Actividades:*** 1) Seleccionar los procesos clave y hacer el inventario de los elementos del conocimiento. Para ello, se propone llevar a cabo lo siguiente: i) confección del listado de los procesos de la empresa; ii) identificación de procesos clave; iii) selección de procesos a documentar; y, iv) diagnóstico de procesos seleccionados.
- ***Producto:*** Inventario de elementos del conocimiento de procesos clave.

Fase 3. Documentación de procesos clave

- ***Propósito:*** Convertir el conocimiento tácito codificable y el explícito existente de los procesos clave en documentación que pueda ser procesada como información para su posterior reutilización.
- ***Actividades:*** 1) Definir el alcance y entregables. Se trata de una descripción detallada del proyecto y de los productos que se deriven; 2) Recopilar conocimientos de procesos clave. Se procede con dinámicas de

ISBN: 978-958-5430-49-5

recolección del conocimiento faltante de los procesos clave. Para ello, se propone llevar a cabo lo siguiente en base a lo sugerido por Hernández *et al.* (2009): i) extracción de conocimiento del proceso; ii) definición del proceso e identificación de actividades; iii) selección de diagrama; iv) elaboración de diagrama; v) revisión; y, vi) oportunidades de mejora; 3) Estructurar entregables. Se procede con el procesamiento de la información recopilada y posteriormente la estructuración de los entregables.

- ***Productos:*** i) Documento de formalización de alcance y entregables del proyecto; y ii) documentación del conocimiento de los procesos clave (entregables).

Fase 4. Validación de procesos clave documentados

- ***Propósito:*** Revisar la documentación elaborada de los procesos clave para que se valide por parte de los involucrados y que posteriormente, se apruebe por parte del responsable del proyecto de la empresa.
- ***Actividades:*** 1) Validar y aprobar formalmente la documentación. Se procede con la revisión de los procesos documentados y, en su caso, con un proceso de evaluación y certificación en base a estándares.
- ***Producto:*** Carta de validación de documentación.

Fase 5. Almacenamiento de documentación de procesos clave

- ***Propósito:*** Resguardar la documentación de los procesos clave de manera que se pueda garantizar que el conocimiento creado podrá ser reutilizado.
- ***Actividades:*** 1) Analizar el mercado interno de conocimiento. Identificar usuarios y proveedores de la documentación; 2) Definir el repositorio y estructura de almacenamiento. Se sugiere considerar diversas herramientas tecnológicas en base al estándar ISO 9126 que muestra los elementos para la evaluación de la calidad de productos de software, los cuales se describen en término de una o más de seis características básicas: i) funcionalidad; ii) confiabilidad; iii) usabilidad; iv) eficiencia; v) mantenibilidad; y, vi) portabilidad (Abud, 2004). También es importante identificar elementos como la capacidad de adaptación de la herramienta a las fases del ciclo de un proyecto (Ambos & Schlegelmilch, 2009), la posibilidad de integrar diversas formas de codificación (Cohendet & Steinmueller, 2000), la estructura del repositorio, la plataforma de almacenamiento y otras especificaciones que defina la empresa para el repositorio; 3) Alimentar el repositorio con la documentación. Se procede con la implantación del repositorio y el resguardo de la documentación.
- ***Productos:*** i) Definición del repositorio a implementar (requerimientos técnicos), estructura de almacenamiento, políticas de almacenamiento y resguardo de la información; y, ii) repositorio con documentación de procesos clave.

Fase 5A. Reutilización

- ***Propósito:*** Utilizar el conocimiento embebido en la documentación del repositorio para la ejecución de procesos de la empresa.
- ***Actividades:*** 1) Difundir y explotar el conocimiento. La empresa debe proceder con la promoción del uso de la documentación del conocimiento para la ejecución de los procesos clave.
- ***Producto:*** i) Guía de uso del repositorio; ii) capacitaciones para el uso del repositorio; y, iii) reporte de uso del repositorio.

Fase 5B. Actualización

- ***Propósito:*** Mantener actualizado el conocimiento embebido en la documentación notificando los cambios constantes de los procesos clave.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- ***Actividades:*** 1) Gestionar la documentación de cambios – mejoras en procesos clave. La empresa debe proceder con la gestión de cambios para ello debe desarrollarse una guía para actualizaciones, así como determinar las políticas que especifiquen los criterios bajo los que se considerará emprender un proceso de actualización.
- ***Productos:*** i) Guía de actualización; ii) políticas de actualización; y, iii) bitácora de actualizaciones implementadas.

Fase 6. Gestión del nivel de conocimiento

- ***Propósito:*** Identificar el nivel del conocimiento en la empresa para conocer el potencial de cada persona, así como implementar planes de desarrollo para lograr el objetivo estratégico de la empresa.
- ***Actividades:*** 1) Evaluar el nivel de conocimiento de los colaboradores. Se debe proceder con la implementación de un método integral de evaluación integral; 2) Gestionar el desarrollo y evaluaciones periódicas. La empresa deberá implementar un plan de desarrollo para todos aquellos que la integren para hacer crecer sus activos de conocimiento.
- ***Producto:*** i) Resumen de evaluación del nivel de conocimiento; ii) bitácora de evaluaciones (comparar).

La metodología propuesta se está probando en una empresa de consultoría del noroeste de México que atiende proyectos de consultoría general, capacitación, tecnología, innovación y gestión del conocimiento.

Actualmente se está trabajando en el diseño de las herramientas correspondientes a las diversas fases de la metodología. Cabe resaltar que la fase 5-B de actualización es fundamental, ya que es la que se relaciona con la naturaleza dinámica del conocimiento, de manera que será la responsable de mantener al día la documentación de los procesos clave haciéndolo un mecanismo de mejora continua.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Al concluir la implementación en la empresa, se espera que esta tenga a su disposición un repositorio de conocimiento con la documentación de sus procesos clave: información general, manuales, diagramas representativos, herramientas de apoyo, entre otros; así como una herramienta que le permita evaluar el nivel de conocimiento de los colaboradores. Con ello, se pretende que se mejore el desempeño y por ende la calidad de los servicios ofrecidos. Cabe resaltar que, además de la implementación del repositorio, los miembros de la empresa serán capacitados para continuar con la implementación de las fases de la metodología que deben mantenerse vigentes.

5. CONCLUSIONES

La documentación del conocimiento cobra relevancia como facilitador de la libre transmisión de este en el tiempo. Particularmente, en empresas de SIC, tales como la consultoría, donde se identifica el conocimiento como un elemento que forma parte del producto entregado al cliente, resulta de suma importancia emprender acciones que permitan gestionarlo. La metodología que se propone sugiere mejoras respecto a las ausencias identificadas en la literatura, plantea de manera integral cómo lograr la documentación de los procesos clave actuales, cómo almacenar dicha documentación, cómo mantener una constante actualización, cómo la empresa debe procurar la reutilización, así mismo brinda soporte para la gestión del nivel del conocimiento. Se espera que la implementación de esta metodología de la oportunidad de tener claridad de los procesos clave, actividades subsecuentes y conocimiento involucrado, impactando directamente en la calidad de los servicios, y por ende en cuestiones de competitividad.

LISTA DE REFERENCIAS

Abud Figueroa, M.A., 2004. Calidad en la Industria del Software. La Norma ISO-9126. *UPIICSA*, (34), 2–4.

Aguilar, M.F., 2013. Identificación y gestión por procesos. *Éxito empresarial*, (235), 1–3.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Alawneh, A., Abuali, A. & Almarabeh, T.Y., 2009. The Role of Knowledge Management in Enhancing the Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs). *Communications of the IBIMA*, *10*(13), 98–109.

Ambos, T.C. & Schlegelmilch, B.B., 2009. Managing knowledge in international consulting firms. *Journal of Knowledge Management*, *13*(6), 491–508.

Apostolou, D. & Mentzas, G., 1999. Managing Corporate Knowledge: A comparative analysis of experiences in consulting firms. *Knowledge and Process Management*, *6*(3), 129–138.

Canedo, S.P. (2009). *Programa de doctorado en didáctica de las ciencias experimentales y la matemática facultad de formación del profesorado*. España, Universidad de Barcelona.

Cohendet, P. & Steinmueller, W. E. (2000). The Codification of Knowledge: a Conceptual and Empirical Exploration. *Industrial and Corporate Change, 9*(2), 195–208.

Creplet, F. *et al.* (2001). Consultants and experts in management consulting firms. *Research Policy, 30*(9), 1517–1535.

Dalkir, K. (2011). *Knowledge Management in Theory and Practice*, (2nd Edition), MIT Press.

Dunford, R. (2000). Key Challenges in the Search for the Effective Management of Knowledge in Management Consulting Firms. *Academy of Management Proceedings*, (2000), 295–302.

García, J. & Mas, F. (2006). *El uso por las PYMEs de servicios intensivos en conocimiento. Factores relacionados e implicaciones de política.* España, Institut d'Economia de Barcelona.

Hernández, A., Medina, A. & Noguera, D. (2009). Criterios para la elaboración de mapas de procesos. Particularidades para los servicios hospitalarios. *Ingeniería Industrial*, 30(2).

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6th ed.), México, D.F.: McGraw-Hill.

Janicot, C. & Mignon, S. (2012). Knowledge codification in audit and consulting firms: a conceptual and empirical approach. *Knowledge Management Research & Practice*, (10), 4–15.

Lowendahl, B. R. *et al.* (2001). Knowledge and value creation in professional service firms: A framework for analysis. *Human Relations, 54*(7), 911–931.

McInerney, C. (2002). Knowledge management and the dynamic nature of knowledge. *Journal of the American Society for Information Science and Technology, 53*(12), 1009–1018.

Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *La organización creadora de conocimiento: Cómo las compañías japonesas crea la dinámica de la innovación* Trans. 1 e. M. Hernández, ed., México: Oxford University Press.

Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N. (2000). SECI, Ba and Leadership: a unifiedmodel of dynamic knowledge creation. *Long Range Planning*, (33), 5–34.

Perez-Soltero, A. (1997). *Modelo para la representación de una memoria organizacional utilizando herramientas computacionales de Internet*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Perez-Soltero, A., Amaya-Melendrez, R. & Barcelo-Valenzuela, M. (2013). A Methodology for the Identification of Key Knowledge to Improve Decision Making in the Training Area. *IUP Journal of Knowledge Management*, *11*(1), 7–22.

Prado, J.A., Longo-Somoza, M. & Fischer, A. (2013). Capacidades dinámicas y gestión del conocimiento en nuevas empresas de base tecnológica. *Cuadernos de Administración, 26*(47), 35–62.

Stewart, T. A. (2001). The wealth of knowledge: Intellectual Capital and the twenty-first century organization. *TELEOS*, 1–2.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Summerhayes, K. & Luo, S. (2006). Managing Knowledge in Professional Consultancy. *Monash Business Review*, *2*(3), 1–13.

Werr, A. & Stjernberg, T. (2003). Exploring Management Consulting Firms as Knowledge Systems. *Organization studies*, *24*(6), 881–908.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ESTUDIO DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN DE LAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS COLOMBIANAS: UNA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL MÚLTIPLE

Delimiro Visbal-Cadavid[1]
Mónica Martínez Gómez[2]
Adel Mendoza Mendoza[3]

RESUMEN

En este trabajo se utiliza el Análisis Factorial Múltiple (AFM) como metodología exploratoria para el análisis de los indicadores de gestión de las 32 Instituciones de Educación Superior (IES) públicas colombianas pertenecientes al Sistema Universitario Estatal (SUE) durante el año 2013, con el objetivo de establecer relaciones entre indicadores, universidades y grupos de indicadores (categorías).

En este estudio observamos que el 21.3% de la inercia recogida por el primer factor está causado por las variables que integran el grupo de Capacidad; mientras que las variables de Formación, Investigación, Bienestar y Extensión explican el 21.07%, 20.5%, 18.6% y 18,4%, respectivamente. Este factor explica un 99.1% de la dispersión de las diferentes IES según su comportamiento en el grupo de variables de capacidad. La contribución del grupo Extensión a la constitución del segundo factor es de un 38.5 %, seguido por el grupo Formación con un 21,8%, Bienestar con un 16.5%, Capacidad con un 11.7% e Investigación con 11.4%.

Los resultados de este trabajo indican que la mayoría de IES poseen la misma estructura, siendo distinta y mejor puntuada en las Universidades Nacional (UNAL), Antioquia (UDEA), Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Pamplona y Valle. Por su parte, las IES con más debilidades son UFPS-Ocaña, Sucre y Pacífico.

1. INTRODUCCIÓN

En todos los modelos de mejoramiento de la calidad en las instituciones de alto desempeño se debe de establecer el conjunto de elementos fundamentales (o variables críticas) que explican el grado de avance o atraso de una organización frente a sus objetivos de mejoramiento (Silva et al., 2014). Estas variables críticas son en las que deben concentrar la atención del esfuerzo de cambio y, por supuesto, sobre las cuales debe enfocarse la determinación de la situación actual.

El objetivo del presente trabajo es establecer relaciones entre indicadores, universidades y grupos de indicadores. El análisis de estas relaciones y asociaciones permitirá a los entes tomadores de decisión en el sector educativo superior en Colombia definir políticas y lineamientos que redunden en la mejora de la calidad, la reorientación de sus políticas y la toma de las decisiones necesarias para la mejora del desempeño de las IES.

En el presente estudio se aplicó el Análisis Factorial Múltiple (AFM), utilizando como variables activas los 29 indicadores de gestión definidos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia para evaluar el desempeño las universidades públicas pertenecientes al Sistema Universitario Estatal (SUE), estos indicadores de gestión están organizados en cinco categorías de variables que recogen las diferentes dimensiones del desempeño de las IES, estas son: Capacidad, Formación, Investigación, Bienestar y Extensión.

[1] Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia, dvisbal@unimagdalena.edu.co
[2] Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Valencia, España, momargo@eio.upv.es
[3] Universidad del Atlántico, Barranquilla, Atlántico, Colombia, adelmendoza@mail.uniatlantico.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestra

La muestra con la que se llevó a cabo el presente estudio corresponde a las 32 universidades públicas colombianas pertenecientes al SUE.

La tabla 1 muestra las Instituciones de Educación Superior (IES) consideradas en el estudio.

La tabla 2 recoge los 29 indicadores de gestión asociados a cada una de las 5 categorías o dimensiones del desempeño de las IES. La descripción de cada variable está disponible solicitándola al primer autor.

Los datos con los que realizaremos el estudio corresponden a las variables y categorías previamente definidas para el año 2013.

Tabla 1. Universidades consideradas en el estudio

IES	IES
Univ. Nacional de Colombia	Univ. del Atlántico
Univ. Pedagógica Nacional	Univ. del Valle
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	Univ. Industrial de Santander (UIS)
Univ. del Cauca	Univ. de Cartagena
Univ. Tec. de Pereira	Univ. de Nariño
Univ. de Caldas	Univ. del Tolima
Univ. de Córdoba	Univ. del Quindío
Univ. Surcolombiana	Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Cúcuta
Univ. de la Amazonía	Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Ocaña
Univ. Militar Nueva Granada	Univ. de Pamplona
Univ. Tec. del Chocó	Univ. del Magdalena
Univ. de los Llanos	Univ. de Cundinamarca
Univ. Popular del Cesar	Univ. de Sucre
Colegio Mayor de Cundinamarca	Univ. de la Guajira
Univ. del Pacífico	Univ. Distrital
Univ. de Antioquia	Univ. Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Fuente: Elaboración propia

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.2. Metodología

En este trabajo se utiliza el Análisis Factorial Múltiple (AFM) como metodología exploratoria para la interpretación de la situación de las IES públicas colombianas. Esta técnica fue desarrollada por los profesores Brigitte Escofier y Jérôme Pagès (Escofier & Pagès, 1992).

El AFM posee gran versatilidad en el tratamiento de información de tres dimensiones, siendo muchos los trabajos que podemos mencionar, entre los que cabe destacar los trabajos de: Carrasco & Arredondo (2006); Fernández *et al.* (2013); Altuzarra & Esteban (2010), manifestando de este modo su potencial empírico en diversas áreas. Estos trabajos revelan como el AFM es una técnica de análisis de tablas múltiples que posee toda una filosofía de análisis comparativo, tanto gráfico como a través de indicadores numéricos, de diferentes conjuntos de datos, sea cual sea su naturaleza y estructura (Fernández *et al.*, 2013).

Tabla 2. Variables consideradas en el estudio

GRUPO	VARIABLE/CODIFICACIÓN
GRUPO 1: Capacidad	Docentes tiempo completo equivalente / DTCE
	Gastos en personal admón. (COP*)/ GPA
	Recursos financieros (COP*)/ RECFIN
	Metros cuadrados / Mt^2
GRUPO 2: Formación	Programas en pregrado / NPROGPRE
	Programas en posgrado / NPROGPOST
	Matrícula primer curso / MATPRIMER
	Matrícula pregrado / MATPRE
	Matrícula de posgrado / MATPOS
	Graduados pregrado / GRADPRE
	Graduados posgrado / GRAPOST
	Pruebas Saber Pro – Inglés / SABING
	Saber Pro / SABPRO
	Empleabilidad / EMPLE
	Movilidad estudiantes colombianos en el exterior / MOVESTCOL
	Movilidad estudiantes extranjeros en Colombia / MOVESTEXT
GRUPO 3: Investigación	Grupos reconocidos y escalafonados por Colciencias / GRUPOS
	Revistas indexadas / REVISTAS
	Artículos en revistas indexadas / ARTICULOS
	Patentes / PATENTES
	Movilidad de docentes / MOVDOC
GRUPO 4: Extensión	Estudiantes en actividades de extensión / ESTEXT
	Vínculo con entidades / VINENT
	Productos licenciados / PROLIC

ISBN: 978-958-5430-49-5

GRUPO	VARIABLE/CODIFICACIÓN
GRUPO 5: Bienestar	Apoyos socioeconómicos en pregrado / APSEPRE
	Apoyos socioeconómicos en posgrado / APSEPOS
	Retenidos / RETENIDOS
	Programas de salud / PROSAL
	Tasa de aprobación / TAPRO

Fuente: Ministerio de Educación Nacional de Colombia. *COP: Pesos Colombianos.

La existencia de grupos de variables conduce a querer aplicar el estudio factorial, no solo a través del conjunto de todas las variables, sino también a través de cada uno de los grupos. Para ello, siempre es posible analizar los grupos por separado. Sin embargo, los resultados obtenidos de forma independiente no son comparables entre sí. Para comparar naturalezas diferentes, es necesario utilizar un referente común. En este sentido, el AFM hace frente a este inconveniente mediante una representación factorial en la que figuran las representaciones de los individuos descritas por cada uno de los grupos de variables por separado (Escofier & Pagès, 1992).

La consideración de una estructura en grupos de un conjunto de variables plantea un problema técnico, referido al peso asignado a cada grupo y enriquece el objetivo del estudio (comparación de los grupos y comparación de las características de las IES definidas por cada grupo simultáneamente). El AFM responde a este inconveniente ponderando las variables de cada grupo mediante el inverso del primer valor propio resultante de un Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado a las variables que componen cada grupo (Escofier & Pagès, 1992).

El AFM proporciona además de los resultados del ACP, medidas globales de relación entre los grupos, mediante el coeficiente RV (Robert & Escoufier, 1976), al mismo tiempo que una representación gráfica de gran potencial explicativo e interpretativo, el coeficiente RV es utilizado para medir la asociación entre dos grupos de variables de la misma muestra.

3. RESULTADOS

3.1. Ponderación de los grupos de variables

A continuación, mostramos los resultados del ACP para cada grupo, con el fin de determinar las ponderaciones para cada variable en cada grupo.

El ACP del grupo Capacidad nos indica que el primer valor propio es 3.374 por lo tanto el peso para cada variable del grupo capacidad es el inverso de este, es decir 1/3.374 = 0.296. El ACP indica que con dos factores se explica el 94.4% de la variabilidad de las variables del grupo.

El primer valor propio para el grupo Formación es 8.267 por lo tanto el peso para cada variable de este grupo es 0.121 y con dos factores se explica el 82.03% de la variabilidad contenida en el grupo.

El primer valor propio del grupo Investigación es 4.458, por lo tanto el peso para cada variable del grupo investigación es 0.224 y con dos factores se explica el 97.512% de la variabilidad.

El primer valor propio para el grupo Extensión se obtuvo una valor propio de 2.107 por lo que el peso para cada variable del grupo es 0.475 y con dos factores se explica el 94.056% de la variabilidad contenida en el grupo.

Finalmente, se obtuvo un primer valor propio para el grupo Bienestar de 3.688 por lo tanto el peso para cada variable del grupo capacidad es 0.271 y con dos factores se explica el 84.503% de la variabilidad contenida en el grupo bienestar.

ISBN: 978-958-5430-49-5

3.2. Análisis Factorial Múltiple (AFM)

Al realizar el análisis global (AFM) para el año 2013, encontramos que con 2 factores se logra explicar el 79.55% de la variabilidad contenida en las 29 variables analizadas. La tabla 3 muestra los valores propios y la variabilidad explicada por cada una de las 2 componentes principales.

*Tabla 3.*Valores propios

	Valor propio	Variabilidad (%)	% Acumulado
F1	4,548	69,556	69,556
F2	0,654	9,995	79,551

Fuente: Elaboración propia.

Las correlaciones entre los grupos con los factores se corresponden con las coordenadas de la figura 1. La existencia de factores comunes a los grupos se justifica por su correlación. La elevada correlación del factor 1 se interpreta como un eje común a los cinco grupos, mientras que el factor 2 reduce significativamente su correlación para estos grupos, siendo "Extensión" la categoría de mayor correlación con este segundo factor.

La figura 1 nos muestra la distribución de los factores, los cuales están formados, en el primer eje, por Bienestar, Formación, Capacidad e Investigación, mientras que cerca del segundo eje se encuentra el grupo Extensión.

El AFM permite determinar la asociación de los grupos con los factores, observandose cómo el factor 1 (F1) está más asociado al grupo de variables de "Capacidad", seguido por el grupo de "Formación", "Investigación", "Bienestar" y "Extensión". Es decir, el 21.3% de la inercia recogida por el primer factor está causado por las variables que integran el grupo de capacidad; mientras que las variables de formación, investigación, bienestar y extensión explican el 21.07%, 20.5% , 18.6% y 18,4% por, respectivamente. Por otro lado, este factor explica un 99.1% de la dispersión de las diferentes IES según su comportamiento en el grupo de variables de capacidad.

Por otro lado, la contribución del grupo Extensión a la constitución del segundo factor es de un 38.5 %, siendo el más importante en la definición de este factor, seguido por el grupo Formación con un 21,8%, Bienestar con un 16.5%, Capacidad con un 11.7% e Investigación con 11.4%. Los cosenos al cuadrado indican la calidad de la representación, encontrándose que el primer factor tiene mucha calidad representativa de la variabilidad presente en los cuatro grupos, no ocurriendo lo mismo para el segundo factor.

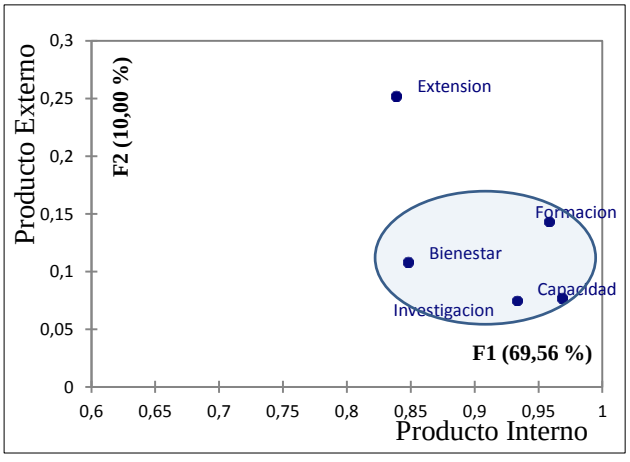


Figura 1. Distribución de los factores

Los coeficientes RV indican una fuerte similitud en la estructura existente entre el grupo Capacidad con los grupos Formación e Investigación, y entre el grupo Formación con Investigación y Bienestar, es decir que entre los grupos indicados existe una alta correlación. El grupo Extensión está más correlacionado con

ISBN: 978-958-5430-49-5

Investigación. El grupo Capacidad es el que más correlación tiene con el resto de grupos, seguida por Formación.

Cuando los factores estimados no están correlacionados entre sí, es decir son ortogonales, las cargas factoriales son también las correlaciones entre los factores y las variables. De este modo encontramos que las variables más correlacionadas con el factor 1 son DTCE (0,969), GRUPOS (0,956), NPROGPOST (0,951), SABPRO (0,941), ARTÍCULOS (0,938) y las menos relacionadas son MATPRE (0,683), APSEPRE (0,609), MOVESTEXT (0,574), MATPRIMER (0,517) y PROLIC (0,431).

La figura 2 muestra la representación de las variables por su correlación con los ejes factoriales. Las flechas indican las direcciones de crecimiento de dichas variables en el espacio factorial, lo que permite identificar gráficamente qué variables tienen mayor peso en cada componente. El centro del círculo de correlaciones representa la media de todas las variables.

Las distintas variables se correlacionan en mayor medida dependiendo de la cercanía de sus vectores, es decir que si entre estas variables, sus ángulos se acercan a cero estarán más correlacionados y viceversa. Como se puede apreciar en ella, la variable productos licenciados (PROLIC) forma un ángulo de 90 grados con las variables gastos en personal administrativos (GPA) y con movilidad de estudiantes extranjeros (MOVESTEXT), lo cual indica que la primera no está asociada con las otras dos. En cuanto a investigación, vemos que todas las variables están altamente correlacionadas entre sí, excepto MOVDOC.

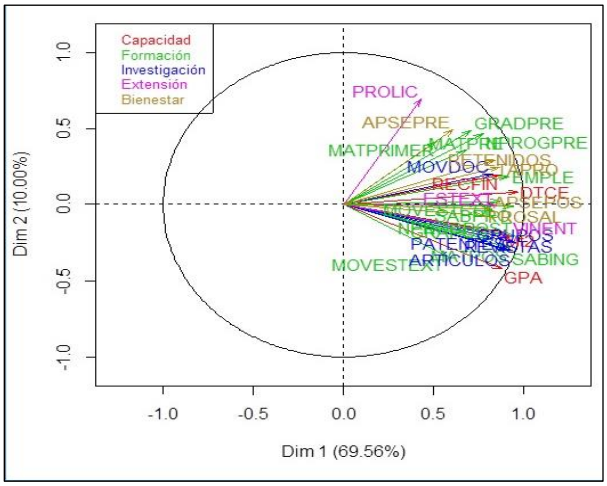


Figura 2. Representación de las variables

El AFM permite proyectar en un plano factorial (1,2) las 32 IES y describir su comportamiento en función de sus coordenadas (figura 3). Para ello, entendemos que las IES tienen un mayor desarrollo de su formación, capacidad, investigación y bienestar a medida que se desplazan hacia la derecha del plano y mayor desarrollo en sus productos licenciados, vínculos con entidades y estudiantes en actividades de extensión cuando se desplazan hacia arriba. De este modo, la UNAL tiene el mejor desempeño en capacidad, investigación, bienestar y el más bajo desempeño en extensión, mientras que la UDEA destaca en este plano, siendo la IES que presenta el segundo mejor desempeño en capacidad, investigación, bienestar y el primero en extensión. Por su parte, las universidades del Pacifico, Colegio Mayor de Cundinamarca, Amazonía, Sucre, UFPS Ocaña y Nariño presentan características similares y al mismo tiempo un bajo desempeño. En términos generales podemos interpretar la figura 3 en el sentido que IES similares se hallan cercanas entre sí. Como se aprecia, la mayoría de IES tiene la misma estructura, siendo distintas UNAL, UDEA, UNAD, Pamplona y Valle. Se puede analizar las fortalezas/debilidades de cada IES, como en el caso de la UDEA que tiene un alto desarrollo en extensión, formación, capacidad, investigación y bienestar por lo cual se puede considerar una de las mejores IES.

ISBN: 978-958-5430-49-5

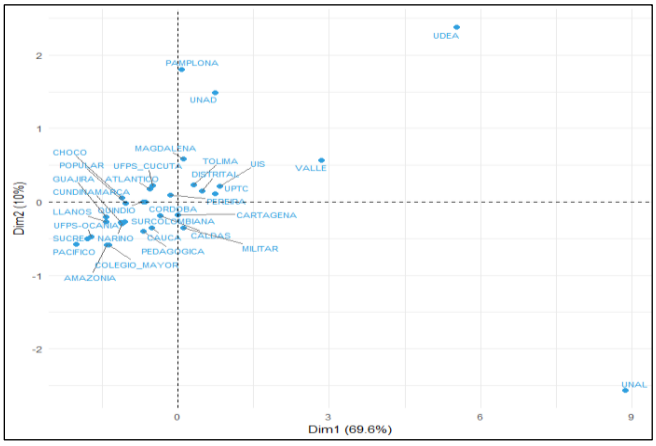


Figura 3. Representación de las IES

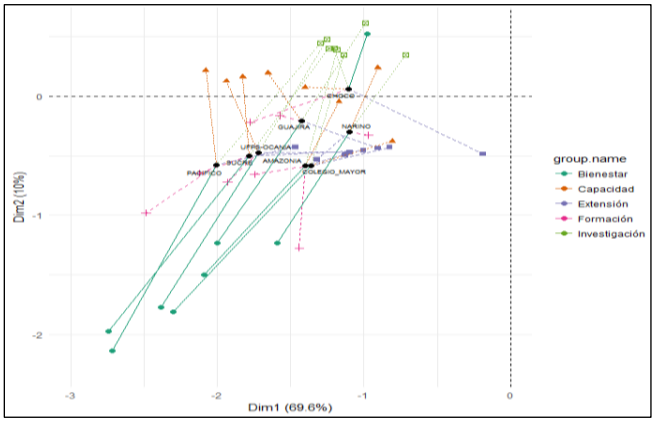


Figura 4. Representación de las IES con sus categorías.

La figura 4 nos permite visualizar la estructura y semejanza de las IES de las universidades que exhiben más debilidades (tercer cuadrante), esto es las Universidades del Pacifico, Colegio Mayor de Cundinamarca, Amazonía, Sucre, UFPS Ocaña, Chocó y Nariño.

Esta figura indica que estas IES deben mejorar en gran medida las variables del grupo Formación, en especial las universidades de Pacifico y Colegio Mayor de Cundinamarca. Dentro de este grupo de universidades la universidad del Chocó es quien presenta un mejor desempeño en los grupos de Bienestar y Extensión. En cuanto a las variables del grupo Investigación todas estas universidades presentan un perfil similar, una situación análoga se presenta con el grupo Capacidad. En términos generales todas estas IES deben realizar un gran esfuerzo por mejorar en gran medida todos los indicadores de gestión.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación realizada hacen notoria la utilización del Análisis Factorial Múltiple para el estudio de los indicadores de gestión de las universidades públicas colombianas.

El estudio muestra que la mayoría de IES tienen estructura similar, siendo distintas y mejor puntuadas la Universidad Nacional (UNAL), Universidad de Antioquia (UDEA), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Universidad de Pamplona y Universidad del Valle.

Por otro lado se evidencia que entre las IES con más debilidades destacan a UFPS-Ocaña, Sucre y Pacífico. Estas tres universidades muestran deficiencias fuertes en formación y bienestar, y ciertos problemas en los indicadores de investigación, extensión y capacidad.

Se sugiere el estudio de dichas carencias por parte del Ministerio de Educación como también por las propias universidades o la realización de un proyecto conjunto entre las partes interesadas.

ISBN: 978-958-5430-49-5

LISTA DE REFERENCIAS

Altuzarra, A. & Esteban, M. (2010). Identificación de submercados de vivienda en España. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 10*, 19-42.

Carrasco, S. & Arredondo, J. (2006). Aportación del AFM al análisis de las políticas públicas. Una visión de américa latina y el caribe, 1990-2002, *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, 6(2), 91-118.

Escofier, B. & Pagès, J. (1992). Análisis factoriales simples y múltiples. Objetivos, métodos e interpretación. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

Fernández, K., Landaluce, M. I. & Modroño, J. (2013). Nuevo procedimiento metodológico para el análisis exploratorio de una tabla estructurada en diversos conjuntos de individuos. *Estadística Española, 55*(182), 305-322.

Robert, P. & Escoufier, Y. (1976). A unifying tool for linear multivariate statistical methods: the RV-coefficient. *Applied Statistics, 25*, 257–265.

Silva J., Bernal E. & Hernández C. (2014). Modelo de aseguramiento interno de la calidad para las instituciones de educación superior en el marco del mejoramiento continuo de la calidad de la educación superior en Colombia. Recuperado desde el Consejo Nacional de Acreditación, disponible en: www.cna.gov.co/1741/articles-186502_Modelo_aseguramiento.pdf

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

UNA PROPUESTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DE PROCESOS ATENDIENDO A LA ISO 9001:2015 Y CONSIDERANDO LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Alonso Pérez-Soltero[1]
Sofía Chávez-Aguiñaga[2]
Mario Barceló-Valenzuela[3]
Gerardo Sánchez-Schmitz[4]

RESUMEN

La certificación de un sistema de gestión de calidad en total conformidad con la norma internacional ISO 9001, busca crear un conjunto de presunciones y evidencias de la capacidad de una organización para producir productos de calidad en conformidad con los requisitos de los clientes y la regulación legal. Recientemente, se introdujo en la norma ISO 9001:2015 una nueva cláusula que involucra al conocimiento organizacional como un recurso valioso que debe conservarse y aprovecharse.

El presente trabajo tiene como objetivo plantear una propuesta de los elementos a considerar para documentar los procesos considerando la gestión del conocimiento, con la finalidad de atender las recomendaciones de la norma ISO 9001:2015. Como resultado, se describen los elementos generales y específicos a considerar, además, se describe un ejemplo ilustrativo de cómo pudieran documentarse los procesos de acuerdo a la norma contemplando los elementos de apoyo relacionados con la gestión del conocimiento.

1. INTRODUCCIÓN

A través de los años la competitividad en las organizaciones se ha vuelto cada vez más evidente y uno de los aspectos más importantes que tienen que tomar en cuenta es la calidad, ya sea en sus procesos o servicios. En la actualidad, todos los clientes buscan productos y servicios de calidad que sean dignos de merecer la lealtad del consumidor. Es por ello que existen herramientas que avalan a las organizaciones para que demuestren que efectivamente cuentan con estándares de calidad y que estas estuvieron bajo un proceso de revisión el cual se acreditó satisfactoriamente obteniendo una certificación. Un ejemplo de esto es la norma ISO 9001, que ofrece herramientas de gestión que permiten definir las políticas empresariales y los objetivos de calidad de las empresas, monitorear y medir el desempeño de sus procesos y características de los productos y fomentar la mejora continua dentro de la organización (Tüvrheinland, 2016).

Por otra parte, de acuerdo a Dalkir (2011) la gestión del conocimiento presenta un enfoque deliberado y sistemático para asegurar la completa utilización del conocimiento de una organización, el potencial de las destrezas individuales, las competencias, los pensamientos, las innovaciones y las ideas para crear una organización más eficiente y efectiva. De este modo la gestión del conocimiento puede ser entendida como la planificación, coordinación y control de las actividades que lleven a la creación, captura y transmisión del conocimiento en forma efectiva (González *et al.*, 2004).

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una propuesta de los elementos a considerar para la documentación de procesos considerando la gestión del conocimiento, con la finalidad de atender las recomendaciones de la norma ISO 9001:2015.

[1] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, aperez@industrial.uson.mx
[2] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, laurasofiachavez@yahoo.com.mx
[3] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, mbarcelo@industrial.uson.mx
[4] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, gsanchez@industrial.uson.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

Este documento está estructurado de la siguiente manera: un marco de referencia donde se explican los puntos relevantes de la norma ISO 9001:2015, la gestión del conocimiento, además de su importancia en la norma ISO 9001:2015. Posteriormente, se describe la propuesta de los elementos a considerar en la documentación de procesos, finalmente, se encuentran las conclusiones de este trabajo.

2. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se describen los conceptos relacionados con este trabajo y que corresponden a la norma ISO 9001:2015, gestión del conocimiento y la importancia de considerar la gestión del conocimiento en la norma.

2.1. Norma ISO 9001:2015

La ISO 9001 es la norma internacional que especifica los requisitos para los sistemas de gestión de la calidad. Las organizaciones implementan los requisitos de la norma para demostrar la capacidad de proporcionar productos y servicios consistentemente que cumplan con los requisitos de los clientes y de la normativa (Militaru & Zanfir, 2016; Medić *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016). Es el estándar más popular de la serie ISO 9000 y el único estándar en la serie a la que las organizaciones pueden certificar (Medić *et al.*, 2016).

La continua evolución de los procesos en las organizaciones así como también la mejora en los procesos de certificación, ha llevado como resultado la modificación de la ISO 9001:2008 en algunas de sus cláusulas, esto con la finalidad de llevar a cabo un mejor proceso de certificación. De ahí que la norma ISO 9001:2015 constituye una "gran revisión" del sistema de gestión de la calidad, con un nuevo enfoque, similar a lo que debería ser este sistema: gestión empresarial, cómo se organiza el negocio a través de la calidad en todas las actividades de la organización (Militaru & Zanfir, 2016).

Entre las novedades y diferencias que se incluyen en la versión 2015 en comparación con la 2008 están por ejemplo que la terminología fue ligeramente modificada y los principios se redujeron a siete: atención al cliente, liderazgo, compromiso de las personas, enfoque basado en procesos, mejora, la toma de decisiones basada en la evidencia, manejo de las relaciones. Por otro lado, se introdujo por primera vez una nueva cláusula que involucra el conocimiento organizacional como recurso. Esta cláusula define que la organización determinará los conocimientos necesarios para el funcionamiento de sus procesos y para lograr la conformidad de productos y servicios. Este conocimiento se mantendrá y se pondrá a disposición según se requiera (Militaru & Zanfir, 2016).

2.2. Gestión del conocimiento

La GC es una disciplina multifuncional, como tal no se cuenta con una definición única (Dalkir, 2011). En la literatura existen numerosas definiciones de GC, pero aún no se cuenta con una definición aceptada de manera general (Voon-Hsien *et al.*, 2013), por lo que diversos autores han planteado diferentes conceptos.

La GC es la disciplina encargada de diseñar e implementar sistemas con el objetivo de identificar, capturar y compartir el conocimiento de una organización de forma que pueda ser convertido en valor para la misma (Nonaka & Takeuchi, 1995; Davenport & Prusak, 1998; Pérez-Montoro, 2016).

Hasanzadeh & Mahaleh (2013) la definen como la capacidad con que cuenta una organización referente al uso del capital intelectual, experiencia y conocimiento, tanto individual como colectivo para alcanzar los objetivos organizacionales a través del proceso de producción e intercambio de conocimiento y su utilización con el apoyo de tecnología.

Para Dalkir (2011) la GC es la coordinación deliberada y sistemática de las personas de una organización, tecnología, procesos y estructura organizacional con el fin de añadir valor a través de la reutilización y la innovación. Esto se logra a través de la promoción de la creación, el intercambio y la aplicación de conocimientos, así como a través de la alimentación de las valiosas lecciones aprendidas y mejores prácticas en la memoria corporativa con el fin de fomentar el continuo aprendizaje organizacional.

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.3. Relación e importancia de la GC con la norma ISO 9001:2015

Como se ha visto anteriormente, los conceptos de la ISO 9001 y la GC tienen una relación muy estrecha considerando que ambos buscan la mejora de las organizaciones. Ahora, si se considera la nueva cláusula de la norma ISO 9001:2015 que involucra el conocimiento organizacional como recurso, se deja de manifiesto una relación explícita entre la norma ISO 9001 y la GC.

La nueva clausula hace referencia a la determinación de los conocimientos necesarios para el funcionamiento adecuado de procesos y para lograr la conformidad de productos y servicios (Wilson & Campbell, 2016). En este punto, la GC ofrece un enfoque que se ha aplicado con éxito y que contempla la creación, el intercambio, la preservación y la aplicación óptima del conocimiento para lograr los objetivos de la organización (Fowler & Pryke, 2003). Por ejemplo, la preservación del conocimiento que incluye los sistemas y actividades que capturan y retienen el conocimiento, favorecen su permanencia en la organización una vez que estos son adquiridos (Kim, 2005).

Zetie (2002) menciona que la GC también puede estar directamente relacionada con la gestión de la calidad de los servicios, por el hecho de que un manual de calidad de la organización es el depositario del conocimiento de sus procesos. Desde esta perspectiva, un manual de calidad ISO 9000 puede ser visto como un tipo de conocimiento codificado y puede facilitar el almacenamiento del conocimiento, la transferencia y finalmente favorecer la aplicación del mismo.

Por otro lado, implementando diversos elementos, ya sean conceptuales y/o herramientas específicas que la GC ofrece, se puede facilitar la documentación de procesos para atender las recomendaciones de la norma ISO 9001:2015 incluidas en la nueva cláusula.

3. PROPUESTA DE ELEMENTOS A CONSIDERAR EN LA DOCUMENTACIÓN DE PROCESOS

Desde el enfoque de la GC se pueden incluir elementos tanto generales como específicos que pueden ayudar para la documentación de procesos de acuerdo a la norma ISO 9001:2015. Cuando se documenta un proceso de la organización siguiendo la norma, implica documentar un procedimiento (cómo se hace el proceso) que consiste en las instrucciones operativas o protocolos de actuación.

Para esta propuesta, se entienden como elementos generales, aquellos que pueden aplicarse antes, durante y/o entornos electrónicos de apoyo a la elaboración de los procedimientos que describen al proceso. Así mismo, se denominan como elementos específicos aquellos que pueden ser de apoyo a los procedimientos una vez que estos se encuentran documentados.

Este trabajo no pretende hacer una revisión exhaustiva de todos los elementos (estrategias, técnicas o herramientas) generales o específicos que pueden utilizarse, sino poner de manifiesto que la GC puede aportar y fortalecer el proceso de documentación de procesos de acuerdo a la norma ISO 9001:2015.

Algunos elementos generales que pueden considerarse y cómo pueden utilizarse se describen a continuación:

Análisis de la red social de la organización, según Krebs (citado por Dalkir, 2011), "el análisis de redes sociales es el mapeo y la medición de relaciones y flujos entre personas, grupos, organizaciones, computadoras u otras entidades de procesamiento de información / conocimiento". Los nodos de la red son las personas y los grupos, mientras que los vínculos muestran relaciones o flujos entre los nodos. La información que arroja dicho mapeo puede ser de mucha utilidad antes de la documentación de procesos para conocer cómo se dan las relaciones entre los departamentos o personal y saber el flujo de información entre los mismos. Considerando lo anterior, pueden tomarse decisiones importantes como por ejemplo determinar a quiénes involucrar en la documentación de los procesos.

Técnicas de entrevista a expertos, se pueden utilizar varias técnicas para optimizar las entrevistas a expertos. Dos de los medios más populares incluyen entrevistas estructuradas e historias. En muchas

ISBN: 978-958-5430-49-5

organizaciones, la entrevista estructurada se realiza a través de entrevistas de salida que se llevan a cabo cuando el personal experto está cerca de la edad de jubilación. También es importante considerar las cuatro técnicas principales utilizadas en la escucha reflexiva: parafrasear, aclarar, resumir y reflejar sentimientos. Estas técnicas pueden ser muy útiles en el proceso de la documentación de procesos en las organizaciones, brindando información extra y de contexto al contenido de los procedimientos documentados. Esta información de contexto puede plasmarse mediante lecciones aprendidas, mejores prácticas, historias, entre otras y que se explican posteriormente dentro de los elementos específicos.

Trabajo en equipo y comunidades de práctica, un factor importante es el grado en que los miembros del equipo comparten el conocimiento común (modelos mentales compartidos) sobre su proceso de equipo. En la medida en que los modelos mentales de los miembros del equipo sean similares, tendrán un mejor rendimiento el equipo (DeChurch & Mesmer-Magnus, 2010). Asimismo, una comunidad de práctica es un grupo de personas que comparten una preocupación o pasión por algo que hacen y aprenden a hacerlo mejor mediante la interacción regular con sus compañeros; se ha demostrado que estimula la participación en el aprendizaje colaborativo y mejora el intercambio de conocimientos entre los miembros (Wenger, 2004). Para favorecer la documentación de procesos, se pueden integrar equipos de trabajo y formar comunidades de práctica relacionadas con los procesos.

Repositorios de conocimiento, guardan contenido valioso que es una mezcla de conocimiento tácito y explícito basado en experiencias únicas de los individuos que son o fueron parte de la compañía. En ellos se encuentra el *know-how* que ha sido probado, aprobado y encontrado exitoso en situaciones de trabajo. Como apoyo a la documentación de procesos, puede utilizarse como un entorno electrónico donde se encuentren documentadas las experiencias de los procedimientos de trabajos de la organización que pueden ayudar a agilizar o mejorar el trabajo de personas. Estos entornos pueden apoyar a varios de los elementos específicos.

Algunos de los elementos específicos que pueden considerarse se encuentran los siguientes:

Páginas amarillas, permiten llevar un registro de las personas de la organización, la experiencia que poseen y dónde pueden localizarse. Las comunidades tienen que ver con conexiones entre personas y estas conexiones se usan frecuentemente para desarrollar páginas amarillas corporativas o un sistema de localización de experiencia. La integración de páginas amarillas en los manuales de procesos, puede facilitar la localización de aquellos individuos a los cuales se puede acudir en busca de respuesta a dudas. Es importante tener bien ubicadas aquellas personas que cuentan con el conocimiento esencial o importante en cada área o departamento de la organización.

Árboles de decisión, el árbol de decisión representa caminos alternos que indican el impacto de diferentes decisiones que se toman en ese punto de unión, típicamente se representan en forma de un diagrama de flujo. Un árbol de decisiones puede representar muchas "reglas" y cada quien ejecuta la lógica siguiendo una trayectoria debajo de él, cada individuo evitará aquellas reglas que no son relevantes al caso en cuestión. Se pueden integrar árboles de decisión en la documentación de procesos como apoyo visual para las distintas decisiones o caminos que pueden llevarse a cabo en el procedimiento descrito en el manual.

Mejores prácticas, son experiencias exitosas, positivas y/o descubrimientos innovadores realizados durante la ejecución de una tarea o desarrollo de una actividad. La finalidad de documentar estas experiencias es promover su aplicación que garantiza la obtención de resultados positivos. Como parte de la documentación de los procesos, se puede acompañar de las mejores prácticas que respondan entre otras a preguntas como: ¿Por qué ha sido exitoso este proceso? ¿Qué factores apoyaron este éxito y que garantizan su aplicación futura? ¿Qué se tendría que hacer para replicar el éxito en otros procesos aunque tengan un contexto diferente?

Lecciones aprendidas, son experiencias negativas o de fracaso que se llevaron a cabo durante la ejecución de una tarea o realización de una actividad. La finalidad de documentar estas experiencias es evitar caer nuevamente en los mismos errores. Como parte de la documentación de los procesos, se puede acompañar de

ISBN: 978-958-5430-49-5

una serie de lecciones aprendidas que respondan entre otras a preguntas como: ¿Qué pudo haberse hecho diferente? ¿Qué se recomienda mejorar para procesos similares? ¿Qué errores deben ser evitados si se busca hacer un procedimiento similar?

Narración de historias, la narración de historias, tanto en forma verbal oral o escrita, es un vehículo para capturar y compartir el conocimiento. Además, se aplica en la gestión y prácticas de la organización con el fin de alcanzar metas específicas y funciona como un complemento a las herramientas de gestión tradicionales. Por lo tanto, el objetivo dentro de las organizaciones, debe ser identificar aquellas historias que mejor comuniquen la historia fundamental de la compañía y que al mismo tiempo garanticen su repetición (Pérez-Soltero *et al.*, 2015). Se puede desarrollar material digital que contenga la narración de historias como apoyo a la documentación de los procesos, estas historias pueden explicar experiencias vividas en el pasado y cómo los diversos involucrados participaron en ellas.

Mapas cognitivos, una vez que la experiencia y el conocimiento han sido explicitados, generalmente a través de alguna forma de entrevista, el contenido resultante puede ser representado como un mapa cognitivo. Un mapa cognitivo o de conocimiento es una representación del modelo del conocimiento de una persona y proporciona una buena forma de conocimiento codificado. Su representación puede hacerse mediante mapas conceptuales. Como apoyo a los manuales de proceso, se puede tener acceso de forma visual a los procesos que se hayan documentado en la organización, además de ser de apoyo para aquellas personas que son más visuales.

Para implementar estos elementos, se propone contar con una guía detallada que describa cómo documentarlos. Hasta el momento y como idea inicial, en la tabla 1, se presenta un ejemplo genérico de cómo se pudiera llevar a cabo su documentación.

Tabla 1. Ejemplo genérico para documentar los procesos considerando los elementos específicos

NOMBRE DE LA EMPRESA	**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS**	**CÓDIGO** **FECHA**
	NOMBRE DEL PROCESO	
	Objeto y ámbito de aplicación	
	Definiciones	
1	Descripción detallada del proceso	
2	No conformidades del proceso	
3	Situaciones excepcionales	
4	…	
5	Anexos	
…	Elementos de apoyo relacionados con la GC*	
9	10.1 Páginas amarillas	
10	10.2 Mejores prácticas	
	10.n Lecciones aprendidas…	
	* Los que la organización considere adecuados	

Fuente: Elaboración propia

La idea mostrada en la tabla 1, es básicamente conservar los puntos relevantes a documentar de cada proceso según la ISO 9001 e incluir una sección con los elementos de apoyo relacionados con la GC que la organización considere adecuados.

4. CONCLUSIONES

Con esta propuesta se pretende apoyar a las organizaciones sobre qué elementos se pueden tomar en cuenta de la GC para llevar a cabo la documentación de procesos de acuerdo a la norma ISO 9001:2015. Se proponen, como un acercamiento inicial, dos grupos de elementos: generales (análisis de la red social de la

ISBN: 978-958-5430-49-5

organización, técnicas de entrevista a expertos, trabajo en equipo y comunidades de práctica, repositorios de conocimiento) y específicos (páginas amarillas, árboles de decisión, mejores prácticas, lecciones aprendidas, narración de historias, mapas cognitivos).

Para llevar a la práctica la implementación de estos elementos, se mostró un ejemplo genérico que puede servir de apoyo y que cuenta con varias secciones, entre los trabajos futuros se encuentran realizar un análisis exhaustivo a través de una revisión profunda de la literatura que contemple una mayor cantidad de elementos (estrategias, técnicas o herramientas) generales o específicos de la GC que puedan utilizarse para la documentación de procesos de acuerdo a la norma ISO 9001:2015. También será importante desarrollar una guía más detallada de cómo implementar dichos elementos. Además, se requerirá del apoyo de alguna herramienta de software que facilite la documentación de procesos, que incluya la búsqueda de procesos, procedimientos, páginas amarillas, lecciones aprendidas, buenas prácticas, entre otros elementos de interés.

LISTA DE REFERENCIAS

Dalkir, K. (2011). *Knowledge Management in Theory and Practice.* (2nd Edition). MIT Press.

Davenport, T. H. & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. USA: Harvard Business School Press.

DeChurch, L.A. & Mesmer-Magnus, J.R. (2010). The cognitive underpinnings of effective teamwork: A Meta-Analysis, *Journal of Applied Psychology, 95*(1), 32–53.

Fowler, A. & Pryke, J. (2003). KM in public service provision: the child support agency. *International Journal of Service Industry Management, 14*(3), 254-28.

González A.L., Castro J.P. & Roncallo M. (2004). Diagnóstico de la gestión de conocimiento en una empresa grande de Barranquilla (Colombia): Una actividad de vinculación cooperativa universidad - sector productivo, *Ingeniería & Desarrollo*, 16, 70-103.

Gyun, H., Kang, K.,B. H. & Park, D. J. (2016). Counterplan of Manufacturers in Accordance with ISO 9001:2015 Revision Conversion. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 39*(3), 71-82.

Hasanzadeh M. & Seyedeh M. (2013). Effect of Knowledge Management on Success of Customer Relationship Management in Eghtesad Novin Bank of Tehran. *Global Journal of Management and Business, 4*(6), 839-848.

Kim, M. J., (2005). *Knowledge Retention Enhances Performance-Based Management*, Disponible: http://www.dcma.mil/communicator/fall05/4_business_processes/DCMA_Comm_v05n03_pp49-51.pdf

Krebs, V. (2002). The social life of routers: Applying knowledge of human networks to the design of computer networks, *The Internet Protocol Journal, 3*(4), 14-25.

Medić, S., Karlović, B. & Cindrić, Z., (2016). New standard ISO 9001:2015 and its effect on organisations, *Interdisciplinary Description of Complex Systems, 14*(2), 188-193.

Militaru, C. & Zanfir, A. (2016). The vision of new ISO 9000:2015 Standard. *Knowledge horizons-Economics*, 8(1), 131-135.

Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. New York-Oxford.

Pérez-Montoro, M., (2016). Gestión del conocimiento: orígenes y evolución*. El profesional de la información*, *25*(4), 526-534.

Pérez-Soltero, A., Aguayo, M.E., Barceló, M., Sánchez, G. & Fornés, R.D. (2015). *Consideraciones para el éxito en el desarrollo de narrativas digitales como apoyo a la gestión del conocimiento organizacional*. En: Fornés, R. D.; Cano, A.; Pérez-Soltero, A.; Barceló, M.; Limón, L.A. & Zapuche, C.O. Gestión para la mejora del desempeño organizacional, (pp. 34-55), México: Editorial Universidad de Sonora.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tüvrheinland (2016). Norma ISO 9001:2015 ¿Qué esperar y cómo anticiparse?, Disponible en: https://www.tuv.com/media/mexico/quienes_somos_1/Whitepaper_Systems_ISO_9001_2015_VF_low.pdf

Voon-Hsien, L., Lai-Ying, L., Teck-Soon, H. & Keng-Boon O. (2013). Knowledge management: a key determinant in advancing technological innovation?, *Journal of Knowledge Management, 17*(6), 848-872.

Wenger, E. (2004). Knowledge management as a doughnut: shaping your knowledge strategy through communities of practice. *Ivey Business Journal*. Disponible en: http://iveybusinessjournal.com/publication/knowledge-management-as-a-doughnut/

Wilson J.P. & Campbell, L. (2016). Developing a knowledge management policy for ISO 9001: 2015. *Journal of Knowledge Management, 20*(4), 829-844.

Zetie, S. (2002). The quality circle approach to knowledge management, *Managerial Auditing Journal, 17*(6), 317-321.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

MODELADO DE LA GESTIÓN DE OPERACIONES Y DE CAPACIDAD DE UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA UTILIZANDO DINÁMICA DE SISTEMAS

Edgar Fernando Venegas Daza[1]
Edgar Leonardo Duarte Forero[2]
Roman Anselmo Mora Gutiérrez[3]

RESUMEN

Las empresas de transporte se enfrentan a la decisión del uso de su propia flota de vehículos o la de subcontratistas. Ambas opciones son complejas y requieren de un profundo análisis de las ventajas y defectos. Los múltiples actores, relaciones y dimensiones de estos problemas requieren una visión sistémica de sus componentes.

Se propone un modelo en dinámica de sistemas, inspirado en el caso de una empresa colombiana, para probar estrategias de capacidad (tamaño de la flota) y los resultados en los beneficios financieros de la empresa y en la satisfacción del cliente. Se evalúan cinco políticas diferentes considerando variables como el tamaño de la flota, el pago de los propietarios, el alquiler de vehículos, los beneficios obtenidos, los gastos en mantenimiento y operaciones.

Los resultados sugieren que las estrategias mixtas son adecuadas ya que permiten mantener un equilibrio en entornos de alta competitividad como el colombiano. El modelo propuesto es capaz de servir como una herramienta de prueba de políticas a mediano plazo para pequeñas empresas de transporte en Colombia. Una mezcla de flota propia y alquilada es la mejor opción, ya que permite absorber los cambios de demanda en horizontes de planificación de mediano y largo plazo.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo que se presenta a continuación está basado en empresas colombianas que brindan el servicio de transporte de carga seca, con viajes desde un punto de origen hasta un destino final. La compañía usada como caso de estudio, mantiene entre el 5 y 15% de vehículos propios y el restante de la flota en vehículos subcontratados, ya sea por camiones vinculados o externos a esta.

Los ingresos en empresas de este tipo están compuestos por fletes de transporte no estables, debido al carácter altamente competitivo del sector, provocando que las tarifas por el servicio varíen y sean difíciles de negociar con los clientes. Mientras los gastos por vehículos propios son elevados, debido a mantenimientos, reparaciones, combustibles, peajes, entre otros que pueden variar ya sea por la experticia del conductor, condiciones de la ruta o hasta aspectos sociales y políticos.

Con base al diagnóstico y análisis de las necesidades de la empresa de estudio y de empresas del mismo giro, se encontraron problemas para determinar criterios y metodologías al definir estrategias basadas en su flota propia y tercerizada, con las que aseguren el cumplimiento de metas, reducción de costos e incremento de la rentabilidad.

2. ESTADO DEL ARTE

De los estudios destacados en logística del transporte de carga, se encuentra "*The Multi Period Vehicle Lease Planning for Urban Freight Consolidation Network*", en el que determinan un horizonte de planificación para la

[1] Universidad Libre, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, edgarf.venegasd@unilibrebog.edu.co
[2] Universidad Libre, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, edgarl.duartef@unilibrebog.edu.co
[3] Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México, mgra@azc.uam.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

asignación de costos mínimos para los vehículos, a través de un modelo de programación entera resuelto en base a la heurística de Lagrange (Yang *et al.,* 2015). Cranic (1997) publicó con el nombre de "*Planning Models for Transportation*", distintos modelos de investigación de operaciones, útiles para la toma de decisiones empresariales a nivel estratégico, táctico y operativo.

En "Estimación de costos externos marginales de los modos de transporte carretero, fluvial y ferroviario en Colombia", el autor uso pruebas de equilibrio para medir los costos de transporte. Concluyendo que para Colombia el costo externo es más alto y complejo para el transporte carretero, siendo los costos ambientales un 90% de este (Márquez, 2011).

García (2012) presenta el caso nombrado "Gestión dinámica de las existencias", en el que se expone una empresa con gran inestabilidad en su producción y en la existencia de productos acabados, por lo que simulan la operación y la capacidad de fabricación del personal para generar estrategias de mejora. Viscarra (2013) en "Planificación empresarial con dinámica de sistemas", modela la gestión financiera de una empresa dedicada a la comercialización de accesorios de vestir que genera ventas directas e indirectas, semejante a lo que ocurre en la empresa usada como caso de estudio.

En la literatura consultada no se encontró un modelo basado en dinámica de sistemas que modele la gestión operativa en el sector transportador.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo se basa en el proceso de modelado propuesto por Sterman (2000) en su libro *Business Dynamic Systems*.

3.1. Articulación del problema

Al realizar la caracterización y diagnóstico de la empresa estudiada, se identificaron tres componentes que se interrelacionan entre sí; las cuales son comunes a cualquier empresa de transporte de carga, ya que poseen variables que se pueden identificar o asociar fácilmente.

Las tres componentes afectadas directamente en la problemática a solucionar, son; la gestión operativa, la de capacidad y la gestión financiera, que se modelaron en un periodo de 50 meses para poder contrastarlas contra los históricos que posee la empresa.

3.2. Hipótesis dinámica

Partiendo de los modelos referentes de García (2012) y Viscarra (2013), se elaboró el diagrama causal y de Forrester (ver Figura 1), en el que se refleja el componente "operacional" representado por la zona punteada llamada Comp.1, donde se hallan las siguientes variables: a) Disponibilidad de viajes real de la empresa "DVR"; b) Capacidad de viajes al mes "DCV"; c) Capacidad no utilizada "CVNU"; d) Fallo de viajes "FV"; f) Servicios faltantes prestados por externos "SFE" y g) Viajes finalizados por camiones vinculados "VFCV". En este mismo componente se encuentra el bucle de refuerzo nombrado "viajes".

El componente de "capacidad" se refleja en la zona punteada nombrada Comp.2, en las que están las variables de compra "CCP" y contratación de camiones "CCT", que alimentan las existencias de vehículos propios "CPE" y subcontratados "CTE", que a su vez son descontadas por retiros que pudieran suceder por venta de propios "CCV" y desvinculación de terceros "CTR". De estas variables se forma un bucle de regulación, llamado contratación de camiones, el cual está formado por la variable camiones disponibles "CD", que afecta negativamente a CCT, ya que al cubrir con los vehículos disponibles los deseados para ese periodo, no habrá necesidad de contratar más camiones, lo que provoca haya menos existentes, ya que esta variable es afectada principalmente por el retiro del sistema de camiones "RT", lo que disminuye la CD. También se encuentra en este componente el ciclo número tres, llamado operación de la empresa, formado por las variables: SFE, viajes deseados "VD", camiones deseados "CDS", CCT, CTE, CD, DVR, DCV y VFCV, que forman entre ellas enlaces

ISBN: 978-958-5430-49-5

positivos ya que son directamente proporcionales, con excepción del enlace negativo formado entre VFCV y SFE. Lo que conlleva que al haber un número impar de enlaces negativos el ciclo sea de regulación.

Las variables del componente "financiero" están rodeadas por el recuadro llamado Comp.3, que dependen de la cantidad de viajes que fueron realizados por camiones propios "VRCP" y tercerizados "VRCT" (ya sean vinculados "VRTV" o externos "SFE"), puesto que para hallar la utilidad "U" del ejercicio se debe tener en cuenta que los costos difieren entre estos y también que la variable fletes F representa alrededor del 75% de la tarifa acordada con los clientes por viaje. Para determinar la utilidad de los vehículos propios "UCP" se descuentan a los fletes correspondientes los impuestos de Retención en la Fuente y del ICA, como también los costos variables "CV" conformados por repuestos, reparaciones, viáticos, combustibles, peajes entre otros.

Al valor resultante se le adiciona el 25% de la tarifa negociada con el cliente, que corresponde al cobro por operar con la empresa. Mientras con la utilidad por camiones tercerizados "UCT" solo sería la del importe por operar con la compañía ya que el porcentaje de ganancia del flete "PGF", se paga a camiones vinculados como externos en un 100%. La suma de las utilidades por estos dos conceptos se descuenta posteriormente los costos fijos "CF" y de este resultado se dispone el 10% (TA), para ahorros de futuras inversiones "AI", que es acumulado (UA) hasta que los socios consideren pertinente realizar una inversión. Al no estar unidas estas variables con otros componentes, la utilidad se va acumulando, por la interacción constante con el ahorro alcanzado "AAA", formando el ciclo número cuatro, el cual es de regulación.

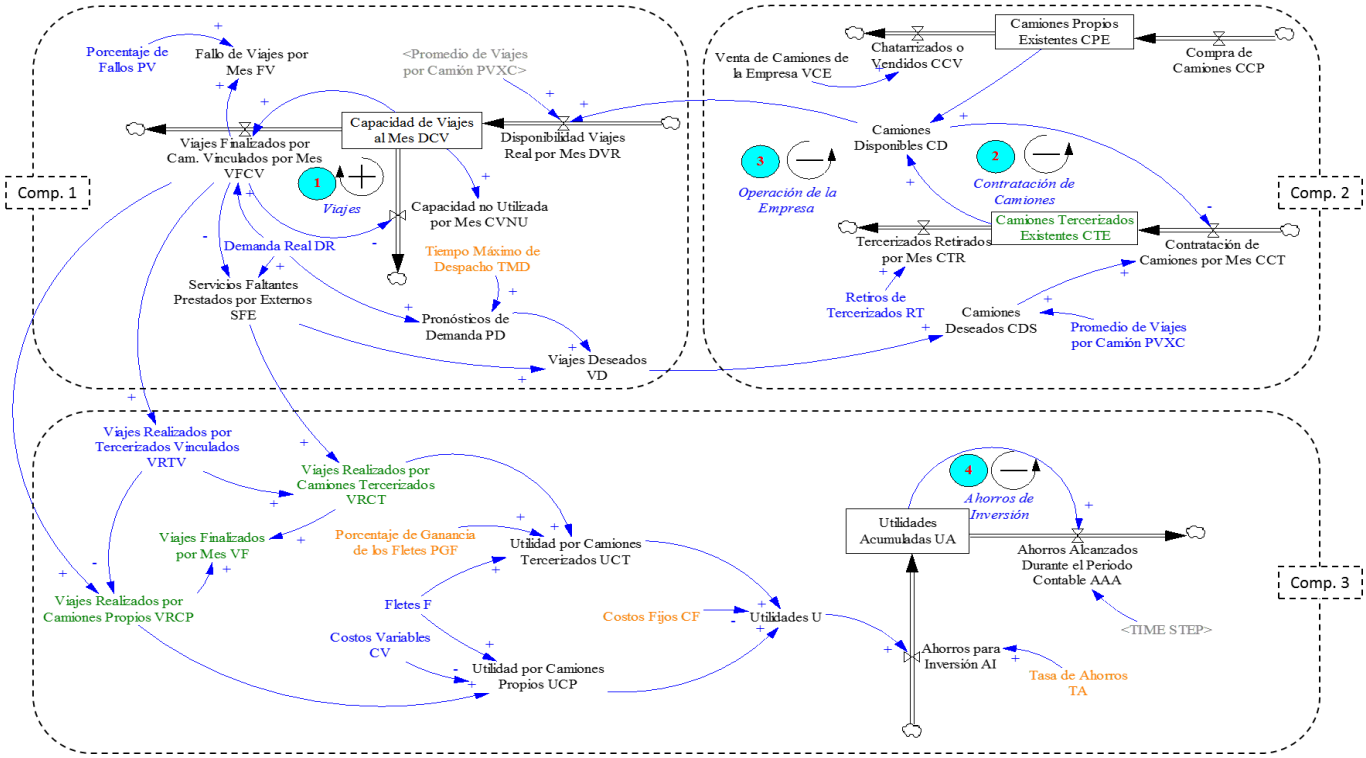


Figura 1. Diagrama de Forrester

3.3. Modelo de simulación

El desarrollo del modelo en el diagrama de Forrester (ver Figura 1), se hizo por medio del software *Vensim*, con la siguiente configuración del modelo: *INITIAL TIME= 0; FINAL TIME= 50; TIME STEP= 0.25; SAVEPER= 1; Units for Time= month; Integration Type= Euler*. Sus variables se alimentaron con la información conseguida de alrededor 18.000 datos históricos de cuatro años, suministrados por la compañía. De las cuales las siete variables con *random*, que se enseñan en la Tabla 1, fueron modeladas con *random normal* debido a la gran aleatoriedad presentada.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 1. Parámetros, variables con random, medidas de Desempeño

PARÁMETROS	VARIABLES CON RANDOM	MEDIDAS DE DESEMPEÑO
TMD	VRTV	CTE
PGB	DR	VRCT
CF	PV	VF
TA	F	VRCP
	CV	
	RT	
	PVXC	

En este modelo se usaron también funciones como SMOOTH, en la variable pronóstico de demanda "PD" y PULSE en las variables CCP, VCE y AAA, para programar se hicieran las operaciones solo en los periodos indicados.

3.4. Pruebas

Para determinar si el modelo propuesto es capaz de reproducir el comportamiento del sistema se compararon los resultados arrojados por este contra los reales (Sterman, 2000). Por lo que se efectuó los siguientes pasos: 1) Recopilar datos históricos de cuatro años; 2) Modelar el sistema y realizar corridas del mismo. Los datos arrojados se graficaron y compararon con los reales, visualizando que presentaban un comportamiento transitorio* 3) Analizar y comparar los datos obtenidos por medio del análisis gráfico como lo sugiere Barlas (1996), 4) Aplicar pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas, (Frías-Navarro, 2014). Los resultados obtenidos se observan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos arrojadas por la simulación vs las reales

	Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Camiones Tercerizados	R	48.00	86.00	65.16	8.30
	S	55.89	82.53	64.76	4.88
Viajes por Camiones Propios	R	17.00	54.00	33.51	9.40
	S	19.76	52.33	34.90	8.81
Viajes por Cam. Tercerizados	R	124.00	295.00	184.22	30.22
	S	142.33	254.71	192.10	25.32
Viajes Finalizados por Mes	R	165.00	335.00	217.73	29.17
	S	178.65	282.01	227.00	25.38

R: Real S: Simulado

Tomando lo mencionado por Forrester & Senge (1980), sobre la no existencia de una prueba única que sirva para aceptar un modelo de dinámica de sistemas, debido a que la confianza en este tipo de modelos se acumula gradualmente al superar más pruebas, razón por la que se efectuaron las anteriores. Concluyendo que existe evidencia significativa para considerar que el modelo sí está representando los datos históricos.

*Se entiende por comportamiento transitorio cuando los datos no son constantes en el tiempo y por el contrario presentan una variabilidad demasiado marcada. Mientras los comportamientos estacionarios presentan variabilidad acompañada de una tendencia estable en el tiempo.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 3. Resultados de pruebas estadísticas

Pruebas Estadísticas	Medidas de Desempeño	Resultados	Conclusión
Prueba de Normalidad (Anderson-Darling)	CTE	Valor-p Real: 0.497 Valor-p Simulado: 0.426	Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0 (La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal)
	VRCP	Valor-p Real: 0.832 Valor-p Simulado: 0.450	
	VRCT	Valor-p Real: 0.351 Valor-p Simulado: 0.075	
	VF	Valor-p Real: 0.070 Valor-p Simulado: **0.040**	
Ajuste de Distribución (Kolmogorov-Smirnov)	CTE	Valor-p Real: 0.677 Valor-p Simulado: 0.828	Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0 (La muestra sigue una distribución Normal).
	VRCP	Valor-p Real: 0.980 Valor-p Simulado: 0.923	
	VRCT	Valor-p Real: 0.784 Valor-p Simulado: 0.402	
	VF	Valor-p Real: 0.782 Valor-p Simulado: 0.224	
Prueba No Paramétrica (Kolmogorov-Smirnov sobre dos muestras)	CTE	Valor-p: 0.169	Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0 (La distribución de las dos muestras es la misma).
	VRCP	Valor-p: 0.699	
	VRCT	Valor-p: 0.064	
	VF	Valor-p: 0.079	
Prueba t Para Dos Muestras Independientes	CTE	Valor-p (bilateral): 0.768	Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0 (La diferencia entre las medias es igual a 0).
	VRCP	Valor-p (bilateral): 0.453	
	VRCT	Valor-p (bilateral): 0.165	
	VF	Valor-p (bilateral): 0.097	

3.5. Diseño de escenarios y políticas

Se diseñaron cinco (5) escenarios que le permitieran a la empresa de estudio la toma de decisiones sobre la flota de camiones propios y subcontratados. Los cinco escenarios en los que se evaluaron políticas que se empezaban, se construyeron con base a políticas existes (ver escenarios 4 y 5 de la Tabla 4) y otras que se querían conocer sin poner en riesgo sus recursos, esto en un horizonte de tiempo de cien meses.

Tabla 4. Escenarios modelados

ESCENARIO	FLOTA PROPIA	PAGO DE FLETES	
1	Comprar un nuevo vehículo al alcanzar cierto ahorro	Administrar el 100% del flete de los vehículos propios
2	Sin Propios (solo trabajar con flota tercerizada)	Pagar el 100% a tercerizados vinculados y externos
3	Seguir con los vehículos que tienen, sin adquirir nueva flota	Administrar el 100% del flete de los vehículos propios
4	Seguir con los vehículos que tienen, sin adquirir nueva flota	Subarrendar los vehículos propios, tomando solo el 25 % del flete
5	Comprar un nuevo vehículo al alcanzar cierto ahorro	Subarrendar los vehículos propios, tomando solo el 25 % del flete

La diferencia de los escenarios 4 y 5 con los demás radica en que adicional a la decisión de subarrendar su flota propia, la empresa solo toma el 25% del pago de flete, desentendiéndose de los costos variables que suceden por la operación de estos. Provocando se disminuye la nómina en aproximadamente un 60%, ya que no solo dejan de tener a cargo los conductores de los vehículos propios, si no que pueden prescindir del personal de mantenimiento (mecánicos) y auxiliares de operaciones, que tenían anteriormente; que es lo mismo que ocurre en el escenario 2.

ISBN: 978-958-5430-49-5

4. RESULTADOS

Al realizar la comparación de las utilidades arrojadas de los cien meses modelados, por medio del diagrama de caja, se evidencia que los escenarios 1 y 3 manifiestan un comportamiento similar, al igual que el 4 y 5, como se observa en la Figura 2. Adicional a esta comparación, se realizaron pruebas de sensibilidad para verificar como afecta que se disminuya el Tiempo Máximo de Despacho (TMD) que tiene la compañía (que es de 6 días o 0.2 meses). Se hicieron 200 corridas, aplicando a la variable mencionada una distribución uniforme de valor mínimo 0.0333 meses (1 día) y máximo de 0.2 meses.

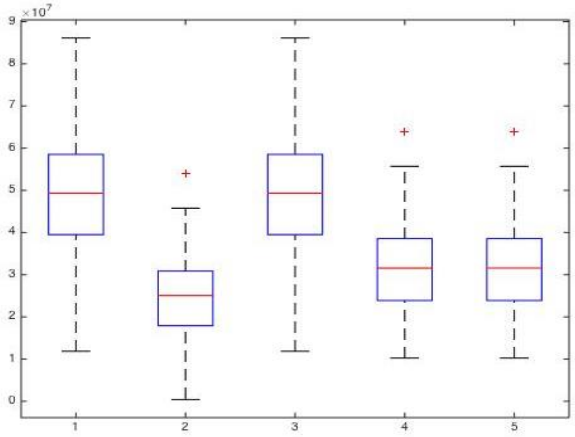


Figura 2. Comparación de escenarios con diagrama de cajas

Las variables seleccionadas para ver cómo afecta este cambio fueron U, VFCV, SFE y PD, que son las usadas como referencia para la toma de decisiones en la empresa. Puesto que la variable PD está formulada con la función SMOOTH, que tiene incorporado una variable de nivel, genera inconsistencias al momento de dividir por un tiempo como 0,0333 si el TIME STEP es de 0,25; por lo que se cambió a 0,0625. Es necesario aclarar que este cambio solo se realizó para hacer la comparación gráfica de estas variables, ya que los datos numéricos recolectados se tomaron de la configuración inicial del modelo. Al hacer el análisis de sensibilidad de las utilidades se evidencia que pese al cambio en PD, no se aumenta de manera significativa las ganancias. Aunque si permitió ratificar lo observado en la Figura 2, pasando a analizar para las demás variables solo tres escenarios (grupos 1-3, 2 y 4-5).

Al analizar en PD, la posibilidad de que la demanda fuese mayor a 300, dio como la opción que más conseguiría estos niveles a los escenarios 4-5. Mientras que si se trabajara solo con camiones subcontratados (escenario 2) sería más probable que los VFCV satisficieran la demanda que estén entre 200 y 250. Aunque es importante buscar que la variable SFE sea lo menor posible, siendo el escenario 1-3 el que mejor presenta este comportamiento, seguido del 2 y 4-5 respectivamente. Al contrastar estos resultados contra los de utilidades, as opciones 2 y 4-5 no tendrán un crecimiento arriba de la media en tantas oportunidades como si lo presenta la estrategia 1-3.

Luego se pasó a generar un análisis financiero para poder tener mayor certeza al tomar una decisión, llevando las utilidades a un valor presente, para poder determinar cuál era mayor, arrojando que los escenarios que más generan utilidades son el 1-3, siendo mayor en aproximadamente un 35% en comparación del 4-5 y en un 50% del 2. Al ser este un resultado parcial ya que en estos no se tuvo en cuenta el ahorro suscitado por el no pago de al menos un 60% de la nómina inicial (condición que se presenta en los escenarios 2, 4 y 5), el cual produce un ahorro por lo menos del 20% con respecto al beneficio neto que se genera. Dando como resultado que la mejor opción sigue siendo los escenarios 1-3, aunque ahora solo en un 20% con respecto a la 4-5 y en 35% del 2, lo que concuerda con el análisis sistémico previo. Luego de tener este resultado se concluyó que la política que produce mayor utilidad entre estas dos es la opción 1, en 0,013%.

ISBN: 978-958-5430-49-5

5. CONCLUSIONES

Al hallar después de generar el modelado de los cinco escenarios que la mejor política es que la empresa siga administrando su floto propia y por ende sus fletes en un 100%, adicionalmente que al cumplir una cierta cantidad de ahorro, se compre un nuevo camión. Debido a que con esta política de inversión crece no solo sus activos si no también la disponibilidad de vehículos para prestar los viajes demandados.

A pesar que la empresa había tomado la decisión de comenzar la implementación de la estrategia 4, que consistía en subarrendar su flota propia; no es una buena opción, ya que perderán no solo autonomía sobre ellos, sino también al menos un 20% de las utilidades que tenían con la estrategia manejada anteriormente (escenario 3), en trabajos futuros se analizarán políticas y escenarios que consideren otras variables endógenas y exógenas.

LISTA DE REFERENCIAS

Barlas, Y. (1996). Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics. *System Dynamics Review*, *12*, 183-210.

Crainic, T. G., & Laporte, G. (1997). Planning models f or freight transportation. *European Joumal of Operational Research*, 409-438.

Forrester, J. & Senge, P. (1980). Tests for Building Confidence in System Dynamics Models. *TIMS Studies in the Management Sciences,* 209-228.

Frías-Navarro, M. D. (2014). *Universitat de València*. Obtenido de http://www.uv.es/~friasnav.

Marquez Diaz, L. (2011). Estimating marginal external costs for road, rail and river transport in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 49-56.

Martín García, J. (2012). *Dinámica de sistemas ejercicios.* Barcelona, España: Juan Martín García.

Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics, systems thinking and modeling for a complex world.* Lexington, MA: McGraw-Hill.

Viscarra, A. (2013). Planificación empresarial con dinámica de sistemas. *Boletín de Dinámica de Sistemas*, 1-11.

Yang, W., Cheong, T., & Song, S. H. (2015). A Multiperiod Vehicle Lease Planning for Urban Freight Consolidation Network. *Mathematical Problems in Engineering*, *2015*, 1-15. http://dx.doi.org/10.1155/2015/921482

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

OPTIMIZACIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO MULTIPRODUCTO PARA UNA EMPRESA MEXICANA MAQUILADORA DE CAJAS DE CARTÓN

Rosmery Caridad Acosta Núñez[1]
Guillermo Airam Piloto Cuellar[2]
José Luis Martínez-Flores[3]
Diana Sánchez-Partida[4]

RESUMEN

La gestión de inventarios es un aspecto determinante en el manejo estratégico de toda organización, a pesar de los costos que representa mantener cierto nivel de inventario, este es necesario para satisfacer al cliente. Entonces, el reto actual radica en lograr mantenerlo en el mínimo requerido. El presente trabajo se enfoca en disminuir el excedente de inventario que se genera en una empresa maquiladora de cajas de cartón, para ello se elabora un modelo de Programación Lineal-Entera (PILP) que permite determinar los niveles óptimos de almacenamiento de los diferentes materias primas así como también el de las diferentes presentaciones del producto terminado, minimizando los costos de inventario y producción. El modelo propuesto se programó utilizando el software comercial Lingo. Al comparar los dos escenarios, actual y propuesto, se obtuvo una disminución en los costos logísticos del 26%.

1. INTRODUCCIÓN

La optimización del inventario sigue siendo uno de los retos clave en la gestión de la cadena de suministro. Típicamente, grandes cantidades de capital de trabajo están atadas en las cadenas de suministro actuales, restringiendo las oportunidades de crecimiento que son esenciales para el éxito de una empresa en mercados competitivos. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que los niveles de los inventarios tienen una gran oportunidad para reducirlos dentro de la cadena de suministro y, por lo tanto, aumentar los factores de competitividad y reducir los costos de producción (Roushdy, 2016).

Es bien sabido que los costos de ordenar y mantener los inventarios de bienes pueden ser significativos para cualquier empresa. Por esta razón, algunos fabricantes han estado implementando sistemas *Just-in-Time* (JIT). Sin embargo, a pesar de la popularidad del enfoque JIT, muchos fabricantes todavía tienen que ordenar y mantener inventarios de materias primas, partes, productos terminados y suministros. Esto se debe principalmente a los tipos de productos y / o sistemas de suministro (Haksever *et al.*, 2005a).

Está claro que decidir cuánto ordenar y cuándo ordenar sigue siendo un desafío para los gerentes en las industrias manufactureras y de servicios. La intensificación de la competencia y el deseo de lograr niveles cada vez mayores de satisfacción del cliente han aumentado la complejidad y la importancia de esta tarea. Uno de los aspectos más difíciles de la mayoría de las decisiones de inventario es la multitud de productos involucrados. Otro, es el conjunto de restricciones en las que los gerentes tienen que operar; muy a menudo estos dos desafíos existen al mismo tiempo (Haksever *et al.,* 2005b).

Según Fernández *et al.* (2001), la política de pedidos elegida es clave dentro de la gestión de inventarios por lo que presentan la modelización e implementación de un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de productos perecederos aplicado a la distribución interhospitalaria de hemoderivados, tratando de satisfacer en lo posible las demandas y evitando la caducidad de los productos en las manos de los clientes.

[1] UPAEP, Puebla, Puebla, México, rosmerycaridad.acosta@upaep.edu.mx
[2] UPAEP, Puebla, Puebla, México, guillermoairam.piloto@upaep.edu.mx
[3] UPAEP, Puebla, Puebla, México, joseluis.martinez01@upaep.mx
[4] UPAEP, Puebla, Puebla, México, diana.sanchez@upaep.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

Balaguer & Márquez (2000) integran en un sistema computarizado un modelo de producción, inventario y ventas; el cual parte de una base de datos, resuelve el problema de programación lineal y retorna los resultados a la base de datos. Dichos resultados dan a conocer la cantidad a producir, la cantidad a almacenar y el número de unidades a demorar de un período al siguiente; para posteriormente realizar un plan de producción para la empresa.

Un eficiente control de inventarios trata de mantener un nivel de stock que permita, garantizar el flujo de material con la calidad requerida, en el lugar y momento oportuno y a un mínimo de costo, y así lograr un máximo de servicio a los clientes. Gutiérrez (2009) desarrolla dos métodos a partir de un enfoque multicriterio que permite clasificar los productos en inventario, para establecer estrategias diferenciadas que posibiliten una gestión de aprovisionamiento eficiente y orientada a los clientes, resaltando la importancia de la gestión de los inventarios dentro de la logística empresarial.

Sin embargo, las decisiones con respecto a las cantidades de inventarios son importantes, por lo que se debe aplicar la administración científica del inventario enfocándose en métodos de gestión que permitan reducir costos (Sánchez, 2015). Para Vidal *et al.* (2003) la investigación de operaciones es una técnica de la preparación científica de las decisiones, que actualmente es utilizada por la mayor parte de las empresas de los países industrializados.

Un modelo de control de inventarios debe incluir metas para determinar rendimientos de optimización para mejorar el abastecimiento y control de stock sin margen de error, los costos de conservación, satisfacer la demanda anticipada y fiscalizar las bajas de inventarios, por lo que para la resolución del mismo se toma como apoyo la ayuda de un determinado software (De las Casas, 2013).

Finalmente, Martínez *et al.* (2015) en su investigación presenta un problema de este tipo donde se busca mejorar la utilidad bruta de una compañía química global en una de sus divisiones en la región latinoamericana. Para resolver este problema primero se desarrolla un modelo de optimización, que integra tanto la producción como la distribución de los productos terminados.

En este trabajo se diseña e implementa un modelo matemático que permite la optimización de los niveles de inventario de materias primas y producto terminado en la empresa analizada. El documento queda estructurado de la siguiente forma: en la primera sección la introducción seguida de la fundamentación del problema, en la tercera sección se presenta el planteamiento del modelo matemático, como cuarta sección se evalúa el modelo, en una quinta sección se plantean las conclusiones de la investigación, en la sexta sección se exponen los reconocimientos y por último se reflejan las referencias bibliográficas de la literatura consultada.

2. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La investigación se realizó en una planta perteneciente a una empresa mexicana con presencia a nivel nacional, dónde el 90% de facturación se debe a los servicios de maquila de empaque de cajas de cartón y servicios logísticos. Esta tiene un competidor en la región dónde se encuentra ubicada, pero a nivel de operación es significativamente inferior a la misma, por tanto, hasta el momento no representa una amenaza al negocio, aunque lo podría ser en el futuro. El proceso seleccionado para el estudio, es el grapado de cajas para su principal cliente, quien le representa el 50% de la facturación, y a la vez el que mayor nivel de inventarios de genera a la empresa.

En la etapa de diagnóstico se identificaron algunas causas que traen consigo un alto nivel de inventario tanto de producto terminado como de materias primas, siendo estos:

- Los pronósticos erróneos recibidos de su cliente, pedido del cual solicita al final de la semana aproximadamente un 75%,
- El suministro de materias primas lo controla el cliente de la planta, quien no tiene en cuenta el nivel de producción contra entrega, sino los pronósticos de demanda enviados a la planta, y

ISBN: 978-958-5430-49-5

- La desigualdad de condiciones contractuales entre ambos actores de la cadena de suministro.

Estas deficiencias se deben básicamente a una baja integración de la cadena de suministro, pues esto o sucedería con una debida coordinación y cooperación cliente-proveedor.

3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATÉMATICO

El modelo elaborado es un modelo de Programación Lineal-Entera, dónde la totalidad de sus variables son enteras, mediante este se pretende minimizar los costos de producción y mantenimiento del inventario, teniendo como supuesto que la demanda se abastece estrictamente y que el stock que se requiere está en función de la capacidad de producción de la organización.

3.1. Variables de decisión

h = Tipo de Materia Prima.

i = Tipo de presentación del producto terminado.

j = Número de períodos: cantidad de períodos en que se divide el horizonte de planeación para el cuál se ejecuta el modelo.

X_{ij} = Cantidad de Producto Terminado producido en la presentación *i* y período *j*.

Y_{i0} = Cantidad de Producto inicial en la presentación *i* en inventario, en el período inicial.

Y_{ij} = Cantidad de Producto inicial en la presentación *i* en inventario, en el período *j*.

M^h_{ij} = Cantidad de Materia Prima h utilizada para producir la presentación *i*, en inventario en el período *j*.

N^h_{i0} = Nivel de inventario de la Materia Prima *h*, que se utiliza para la presentación *i* en el período inicial.

N^h_{ij} = Nivel de inventario de la Materia Prima *h*, que se utiliza para la presentación *i* en el período *j*.

D_{ij} = Cantidad de Producto Terminado en la presentación *i*, demandadas por el cliente durante el período *j*.

L_i = Límite de la capacidad productiva de la presentación *i* en un período.

Z_{ij} = Nivel máximo de almacenamiento de Producto Terminado en la presentación *i*, en el almacén durante el período *j*.

Q^h_{ij} = Nivel máximo de almacenamiento de Materia Prima h que se utiliza para la presentación *i*, en el almacén durante el período *j*.

Cp = Costo unitario de producción.

C_i = Costo de mantener en inventario una unidad del Producto Terminado de la presentación *i*.

A^h_i = Costo de mantener en inventario una unidad de Materia Prima *h* y presentación *i*.

3.2. Modelo general

$$\text{Función Objetivo Minimizar } Z = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H}(X_{ij} * Cp + Y_{ij} * C_i + N_{ij}^h * A_i^h) \quad (1)$$

S.A

$$\forall_{ij},\ X_{ij} \geq D_{ij} + Y_{ij} - Y_{i(j-1)} \qquad (2)$$

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$\forall_{h=1,3,}\ M_{ij}^{h} \geq 1.04 \times X_{ij} + N_{ij}^{h} - N_{i(j-1)}^{h} \quad (3)$$

$$\forall_{h=2,}\ M_{ij}^{h} \geq 2.08 \times X_{ij} + N_{ij}^{h} - N_{i(j-1)}^{h} \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq L_{i} \quad (5)$$

$$\forall_{j}, \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{I} \sum_{h=1}^{H} \left(\frac{X_{ij}+Y_{i(j-1)}}{Z_{ij}} + \frac{M_{ij}^{h}+N^{h}{}_{i(j-1)}}{Q_{ij}{}^{h}} \right) \leq 1 \quad (6)$$

$$\forall_{hij}, \quad X_{ij}, Y_{ij}, M_{ij}^{h}, N_{ij}^{h} \geq 0 \quad (7)$$

$$\forall_{hij}, \quad X_{ij}, Y_{ij}, M_{ij}^{h}, N_{ij}^{h} \in Z \quad (8)$$

En el modelo planteado, la Función Objetivo (1) busca minimizar los costos totales de producción y mantenimiento en inventario tanto de Producto Terminado como de Materia Prima. La restricción (2) garantiza el cumplimiento de la demanda a través de la producción del período y los inventarios restantes del período anterior. Las restricciones (3) y (4), aseguran los niveles requeridos de materia prima para la producción del período utilizando los inventarios restantes del período anterior. La restricción (5), asegura que la producción no sobrepase la capacidad de las líneas de grapado. La restricción (6) se denomina Cualquier Combinación Factible (CCF), y garantiza que en cada período la combinación de los niveles de inventario de cada PT y MP no sobrepase la capacidad máxima de almacén. La restricción (7) es la restricción de no negatividad, y por último la restricción (8) garantiza que las soluciones pertenezcan al conjunto de los números enteros.

4. EVALUACIÓN DEL MODELO MATÉMATICO

Mediante el modelo elaborado, se pretende evaluar en un primer momento, los costos que se están generando actualmente en la empresa debido al excesivo valor de la demanda, y en un segundo instante los costos, tomando como demanda el nivel real de suministro al cliente.

- Para la evaluación del modelo se tomaron los siguientes datos:
- Quince tipos de presentaciones.
- Tres tipos de materias primas principales.
- Período de análisis (10 meses).
- Pronóstico de demanda.
- Capacidad de producción de la línea.
- Capacidad de almacenaje total para cada tipo de producto analizado.
- Inventario inicial de materia prima y producto terminado en el primer período.

Se utilizó como herramienta el Software Lingo 14.0, que permitió obtener los resultados asociados a los escenarios planteados.

4.1 Escenario 1: situación actual

Se obtiene que el costo óptimo es de 33 363 190 (unidades monetarias), en cuanto a los valores de producción, estos se corresponden exactamente con la demanda de cada período, no dejando productos en inventario de un período a otro, esto se debe a que la capacidad de producción es suficiente para producir en cada período lo que para ese período se necesita.

4.2 Escenario 2: propuesta

ISBN: 978-958-5430-49-5

Se obtiene que el costo óptimo es de 24 686 620 (unidades monetarias). Los valores de producción se corresponden exactamente con la demanda de cada período, no dejando productos en inventario de un período a otro, esto se puede interpretar como que la capacidad de producción es suficiente para producir en cada período lo que para ese período se necesita.

4.3 Comparación de los resultados

En la Figura 1 se muestra la comparación entre los costos en ambos períodos, actualmente la empresa está produciendo para el cliente, el total del pronóstico que este le envía, sin embargo, como no está cumpliendo con la recepción del total de producción en función del pronóstico, la empresa se está quedando con estas diferencias en inventario, provocando un costo superior de 8.676.570 (unidades monetarias), cifra significativa, dada por costos de producción elevada, y la acumulación de inventario de materias primas y productos terminados, a mejora equivale a una reducción en costos de un 26%.

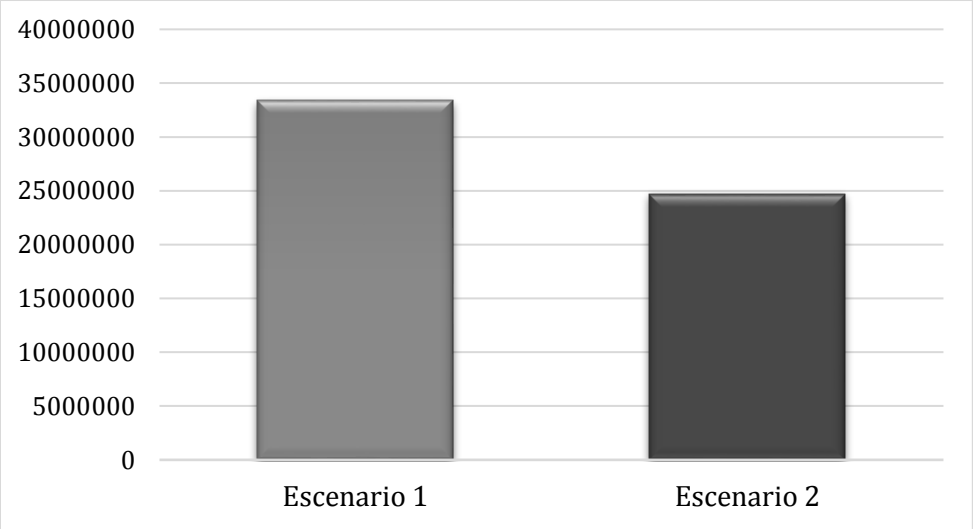


Figura 1. Costos de producción y mantenimiento de inventario en los escenarios analizados, donde el Escenario 1 corresponde a la situación actual y el Escenario 2 al propuesto.

5. CONCLUSIONES

El modelo matemático de Programación Lineal-Entera responde a las necesidades de la empresa. Con este modelo propuesto para el control de inventario de materia prima y producto terminado, se obtienen las cantidades específicas a ser requeridas en base a la minimización del costo total de producción e inventario, los resultados generados indican que la mayor ventaja radica en que se prevé las pérdidas monetarias. Estos ofrecen argumentos sustentables a la empresa, para negociar con el cliente los mecanismos de elaboración de pronósticos de demanda, y llevarlos lo más cercano a la realidad, pues del pronóstico que este le envía actualmente la empresa factura aproximadamente el 75%, quedando el resto en almacenamiento hasta tanto el cliente no lo requiera nuevamente, lo que representa altos volúmenes de dinero inmovilizado generando mayores niveles de costos. La mejora equivale a una reducción de costos del 26% aproximadamente.

6. RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo de esta investigación desarrollada en el programa de Maestría de Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), y apoyado con recursos otorgados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) CVU: 774606 y 705343.

LISTA DE REFERENCIAS

Balaguer, E. P. & V. M. (2000). *Modelo de programación lineal de la producción, integrado en un sistema computarizado de producción, inventario y ventas industrial*. Universidad de los Andes, Economía.

ISBN: 978-958-5430-49-5

De las Casas, J. D. (2013). Programación lineal modelo para minimizar la merma en el proceso de cortes de rollos de película para la elaboración de fotolitos empresa grupo Digigraf S.A. *Tesis de grado*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas EAP. Investigación operativa, Lima, Perú.

Fernández, B. D., González, J. D. & Torre, B. G. (2001). Modelización de un DSS para la gestión de productos perecedores, *Qüestiió* (Vol. 25). Universidad de Oviedo., España.

Gutiérrez, O. P. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios," Competitividad, eficiencia y calidad en la gestión empresarial: entorno cultural y cultura organizacional. *Proyecto de investigación de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales* de la Universidad de Oriente.

Haksever, C. & Moussourakis, J. (2005). A model for optimizing multi-product inventory systems with multiple constraints. *International Journal of Production Economics, 97*(1), 18-30.

Martínez-Flores, J. L., Carreón-Martínez, O. I., Sánchez-Partida, D. (2015) Implementación de un Modelo de Optimización para la Toma de Decisiones Estratégicas Integrando Producción y Distribución en una Compañía Química. *DYNA Management*. DOI: http://dx.doi.org/10.6036/MN7591

Roushdy, B. H. (2016). Integer Programming Model for Inventory Optimization for a Multi Echelon System. *Journal of Advanced Management Science, 4*(1).

Sánchez, S. S. (2015). *Control de inventarios mediante programación lineal en la empresa la Fortaleza Cia. Ltda.*

Vidal, E. R. & Ratto, R. D. (2003). *Programación lineal para administración*. (1a ed.) Valparaíso, Chile: Ediciones universitarias de Valparaíso.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS COLOMBIANAS MEDIANTE ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y MÁQUINA DE SOPORTE VECTORIAL

Delimiro Visbal-Cadavid[1]
Sonia Jacqueline Orjuela Pedraza[2]
Adel Mendoza Mendoza[3]

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación del análisis envolvente de datos en conjunto con Máquina de Soporte Vectorial (MSV), con el propósito de evaluar la eficiencia técnica de las instituciones de educación superior colombianas y su predicción con base en un grupo de indicadores de gestión. Los resultados indican que, en términos generales, la máquina de soporte vectorial presenta un excelente desempeño y potencia las cualidades evaluativas del análisis envolvente de datos añadiendo un componente con propósitos predictivos.

El modelamiento del MSV se llevó a cabo con el software para el análisis estadístico R utilizando el paquete e1071. La validación de los resultados se llevó a cabo con *holdout* repetido. Los cuantiles al 2.5% y 97.5% nos indican que el 95% de los resultados del muestreo presentan tasas de acierto entre 62.50% y 91.67% (con una tasa de acierto promedio del 78.83%), lo cual es un excelente resultado predictivo.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy día es una exigencia considerar criterios de racionalidad y eficiencia económica en la gestión de las instituciones educativas públicas en sus diferentes niveles, con la finalidad de mejorar en sus procesos, mediante la identificación de las variables que puedan afectar dicha gestión de forma significativa.

En este sentido es importante destacar que existen diferencias significativas entre las distintas Instituciones de Educación Superior (IES) en lo referente a los recursos con que cuentan para llevar a cabo sus objetivos misionales (misión estratégica), que de alguna manera inciden en los resultados obtenidos por las mismas. De este modo es factible encontrar universidades que con menos recursos, pero bien utilizados, muestran mejor desempeño que instituciones con más recursos

En esta investigación se utiliza el modelo CCR (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) del Análisis Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis*, [DEA]), enfocado a salidas, para evaluar el desempeño de las IES públicas colombianas. Según el índice de eficiencia resultante para cada IES, éstas se pueden clasificar en eficientes o ineficientes. A continuación utilizamos MSV con propósitos predictivos.

La validación del poder predictivo de los modelos se realiza mediante *holdout* repetido, los datos utilizados en el presente estudio corresponden a indicadores de gestión de las universidades públicas colombianas y son tomados de la base de datos del Ministerio de Educación Nacional de Colombia.

Este artículo está organizado de la siguiente manera, en la segunda sección se ofrece una breve descripción de la metodología utilizada, una breve revisión de la literatura, una introducción del Análisis Envolvente de Datos, Máquina de Soporte Vectorial y *Holdout* Repetido. La tercera parte se indican las instituciones de educación superior y las variables consideradas en el estudio. La cuarta parte del artículo muestra los resultados obtenidos. La quinta sección presenta las principales conclusiones del estudio, y por último una lista de las referencias utilizadas.

[1] Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia, dvisbal@unimagdalena.edu.co
[2] Universidad de Valencia, Valencia, Valencia, España, sojacor@alumni.uv.es
[3] Universidad del Atlántico, Barranquilla, Atlántico, Colombia, adelmendoza@mail.uniatlantico.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

2. METODOLOGÍA

En esta investigación se realiza un estudio cuantitativo, mediante el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y Máquina de Soporte Vectorial (MSV), consistente en un análisis del desempeño de las universidades públicas colombianas, durante los años 2011 a 2013, utilizando el modelo CCR-O (modelo CCR enfocado a salidas) y un posterior estudio de predicción y la validación del poder predictivo del modelo utilizado.

DEA se concibe con la finalidad de determinar los índices de eficiencia técnica de cada IES pública colombiana y así identificar las instituciones que presentan las mejores prácticas en su desempeño. Se utiliza un enfoque a salidas (*output*), pues para una universidad que resulte ineficiente no sería razonable reducir los recursos con los que cuenta. Al contrario, debería aumentar los productos (*outputs*) para mejorar su desempeño.

DEA es una de las principales técnicas usadas en el sector público y privado para evaluar el desempeño de un grupo de unidades productivas homogéneas con múltiples recursos y múltiples productos.

En el área educativa DEA ha sido usada en evaluación del desempeño en instituciones de educación básica (Huguenin, 2014), en evaluación del desempeño de universidades (Thanassoulis, Kortelainen, Johnes & Johnes, 2011), en evaluación de programas académicos (Gökşen, Doğan, & Özkarabacak, 2015), en la evaluación de centros de investigación (Da Silva, & Gonçalves, 2015), en la evaluación del desempeño docente (Mejía, Sánchez & Visbal, 2006).

El análisis envolvente de datos ha sido bastante utilizado conjuntamente con máquina de soporte vectorial, entre los trabajos que cabe la pena mencionar destacamos los realizados por Yeh, Chi & Hsu (2010), para mejorar la precisión en la predicción del riesgo de quiebra empresarial; por Kao, Chang & Chang (2013), para llevar a cabo la estimación de la eficiencia y posterior clasificación de la seguridad de las páginas web de instituciones médicas en Taiwan; por Farahmand, Desa & Nilashi (2014), para evaluar (y predecir) la eficiencia de grandes conjuntos de unidades tomadoras de decisión (DMU, por sus siglas en ingles); por Poitier & Cho (2011), para determinar la frontera eficiente del desempeño organizacional; por Song, & Zhang (2009), para evaluar el desempeño productivo de refinerías petroleras; por Jiang, Chen, Zhang & Pan (2013), para evaluación de proveedores.

Por otro lado DEA fue utilizado por Bazleh, Gholami & Soleymani (2011), para evaluar y realizar un ranking del desempeño de diversos algoritmos de clasificación como: Máquinas de Soporte Vectorial (MSV), *Random Forest* (RF), Regresión Logística, *Naive Bayes* y *Bagging*, C4.5 y CART.

2.1. Data Envelopment Analysis (DEA)

La metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA) fue propuesta por Charnes, Cooper & Rhodes, en base a los conceptos planteados por Farrel en 1957 (Charnes *et al*., 1978). Se trata de una técnica que utiliza programación lineal para comparar unidades de producción que manejan el mismo grupo de recursos y producen el mismo grupo de productos, generando una frontera eficiente e indicadores relativos de eficiencia dentro de la población de unidades de producción estudiadas (*Decision Making Units*, [DMU]). Así, las universidades estatales de Colombia, las unidades tomadoras de decisión, pueden ser tratadas como una firma multiproducto que transforma recursos en productos. El análisis DEA tiene como objetivo encontrar las DMU que producen los niveles más altos de salidas mediante el uso de los niveles más bajos de entradas. Una DMU alcanza una eficiencia del 100% sólo si ninguna de sus entradas o salidas se pueden mejorar sin empeorar algunas de sus otras entradas o salidas.

2.2. Máquina de soporte vectorial

SVM (*Support Vector Machines*) es una técnica útil para la clasificación de datos. Se puede utilizar una máquina de soporte vectorial, cuando sus datos tienen exactamente dos clases como se presenta en este trabajo. Una SVM clasifica los datos mediante la búsqueda del mejor hiperplano que separa todos los puntos de datos de una clase de los de la otra clase. El mejor hiperplano para una SVM significa el que tiene el mayor

ISBN: 978-958-5430-49-5

margen entre las dos clases. Margen significa la anchura máxima de la losa paralelo al hiperplano que no tiene puntos de datos interiores.

2.3. Validación del poder predictivo de los modelos

2.3.1. Holdout

El método *Holdout* es un tipo de validación cruzada, en este el conjunto de datos se divide en dos grupos, llamado el conjunto de entrenamiento y el conjunto de pruebas. Donde la función de aproximación se ajusta utilizando el conjunto de entrenamiento solamente. A continuación, se utiliza la función de aproximación para predecir los valores de salida para los datos en el conjunto de pruebas (que nunca ha visto a estos valores de salida antes). Para evaluar el modelo utilizamos la tasa de aciertos promedio. Sin embargo, esta evaluación puede tener una alta varianza. La evaluación puede depender en gran medida de qué puntos de datos terminan en el conjunto de entrenamiento, y de los que terminan en el grupo de prueba, y por lo tanto la evaluación puede ser muy diferente dependiendo de cómo se hace la división

2.3.2. Holdout repetido

Consiste en repetir *k* veces el método *holdout*. Por lo tanto el conjunto de datos se divide *k* veces en dos grupos, llamado el conjunto de entrenamiento y el conjunto de pruebas. Por lo cual se construyen *k* modelos, los cuales también se evalúan *k* veces.

3. MUESTRA

En el presente estudio de eficiencia de las IES públicas se consideran las 32 universidades públicas colombianas, pertenecientes al Sistema de Universidades Estatales (SUE).

La tabla 1 muestra las 32 universidades públicas colombianas (IES) consideradas en el estudio.

Tabla 1. Universidades consideradas en el estudio

IES	IES
Univ. Nacional de Colombia	Univ. del Atlántico
Univ. Pedagógica Nacional	Univ. del Valle
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	Univ. Industrial de Santander (UIS)
Univ. del Cauca	Univ. de Cartagena
Univ. Tec. de Pereira	Univ. de Nariño
Univ. de Caldas	Univ. del Tolima
Univ. de Córdoba	Univ. del Quindío
Univ. Surcolombiana	Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Cúcuta
Univ. de la Amazonía	Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Ocaña
Univ. Militar Nueva Granada	Univ. de Pamplona
Univ. Tec. del Chocó	Univ. del Magdalena
Univ. de los Llanos	Univ. de Cundinamarca
Univ. Popular del Cesar	Univ. de Sucre
Colegio Mayor de Cundinamarca	Univ. de la Guajira
Univ. del Pacífico	Univ. Distrital

ISBN: 978-958-5430-49-5

IES	IES
Univ. de Antioquia	Univ. Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Fuente: Elaboración propia

3.1. Variables consideradas en el estudio

La información referente a las variables consideradas en este estudio se obtuvo del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2015), y corresponden a los años 2011 a 2013. El análisis envolvente de datos requiere la identificación de las variables de entradas, las cuales se corresponden con los recursos utilizados para llevar a cabo la función misional, y de las variables de salida, las cuales se identifican como los productos u objetivos misionales de cada IES.

3.1.1. Variables de entrada (recursos)

Se detallan a continuación las siguientes variables utilizadas como recursos:

- *Docentes tiempo completo equivalente (DTCE):* Número de docentes en tiempos completos equivalentes, incluyendo catedráticos y ocasionales.
- *Gastos en personal administrativo (GPA):* Gasto para el pago del personal no docente (COP0)
- *Recursos financieros (RECFIN):* Recursos financieros provenientes del Estado y generados por la universidad en desarrollo de su actividad (no incluye ingresos generados por extensión e investigación) (COP)
- *Recursos físicos (M2):* Área de los espacios físicos construidos disponibles para las actividades universitarias misionales y de apoyo administrativo (m2).

3.1.2. Variables de salida (productos)

Las variables productos son las siguientes:

- *Matrícula de pregrado (MATPREG):* Número ponderado de matriculados por niveles de formación y metodologías de enseñanza en posgrado.
- *Matrícula de posgrado (MATPOST):* Número ponderado de matriculados por niveles de formación y metodologías de enseñanza en posgrado.
- *Saber PRO (SABERPRO):* Número ponderado de estudiantes de la universidad que obtuvieron un puntaje mayor al quintil superior en las pruebas saber pro.
- *Revistas indexadas (REVINDEX):* Número ponderado de revistas indexadas de la institución de acuerdo la legislación vigente (Colciencias).
- *Artículos en revistas indexadas (ARTICULOS):* Número ponderado de artículos publicados en revistas indexadas.
- *Movilidad de Docentes (MOVDOC):* Número de docentes vinculados a procesos de movilidad promovidos desde la IES a la que pertenecen.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

Los resultados de eficiencia del modelo CCR – O de los años 2011 a 2013 se muestran en la tabla 2.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 2. Eficiencia de las IES años 2011 a 2013

IES	EFICIENCIA 2011	EFICIENCIA 2012	EFICIENCIA 2013
Univ. Nacional de Colombia	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. Pedagógica Nacional	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. del Cauca	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. Tec. de Pereira	Eficiente	Eficiente	Ineficiente
Univ. de Caldas	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. de Córdoba	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. Surcolombiana	Ineficiente	Eficiente	Ineficiente
Univ. de la Amazonía	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. Militar Nueva Granada	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. Tec. del Chocó	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de los Llanos	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. Popular del Cesar	Eficiente	Ineficiente	Eficiente
Colegio Mayor de Cundinamarca	Eficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. del Pacífico	Eficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de Antioquia	Ineficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. del Atlántico	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. del Valle	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. Industrial de Santander (UIS)	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de Cartagena	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de Nariño	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. del Tolima	Eficiente	Eficiente	Ineficiente
Univ. del Quindío	Eficiente	Eficiente	Ineficiente
Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Cúcuta	Eficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. Francisco de Paula Santander (UFPS)-Ocaña	Ineficiente	Ineficiente	Eficiente
Univ. de Pamplona	Eficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. del Magdalena	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Univ. de Cundinamarca	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de Sucre	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
Univ. de la Guajira	Ineficiente	Ineficiente	Eficiente
Univ. Distrital	Eficiente	Ineficiente	Eficiente
Univ. Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)	Eficiente	Eficiente	Eficiente

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra 40 observaciones consideradas eficientes y 56 ineficientes.

4.2. Predicción

El modelamiento de las SVM se llevó acabo utilizando el paquete “e1071” del software estadístico R.

La clasificación del 100% de las observaciones por medio de Máquina de Soporte Vectorial produce los resultados que se presentan en las siguientes tablas.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 3. Matriz de confusión

PRED	EFICIENTE	INEFICIENTE
Eficiente	28	0
Ineficiente	12	56
Suma	40	56

Tabla 4. Tasas de clasificación*

TVP	TVF	TCC
0.700	1.00	0.875

**Tasa de Verdaderos Positivos (TVP), Tasa de Verdaderos Negativos (TVF), Tasa de Correcta Clasificación (TCC)*

La construcción y validación del poder predictivo de los resultados obtenidos mediante Máquina de Soporte Vectorial se realiza con holdout repetido, de este modo la MSV se entrena eligiendo al azar sin reemplazo muestras con un tamaño del 75% de las 96 observaciones disponibles (72 observaciones) y se valida con el restante 25% (24 observaciones).

En la validación por *holdout* repetido se realiza muestreando 100 veces el 75% de las observaciones sin reemplazo para entrenamiento y el 25% de las observaciones restantes de cada muestreo se utiliza para validación, los resultados indican una tasa de acierto promedio de 0,7883.

La tabla 5 muestra los cuantiles al 2.5%, 50% y 97.5% de la Tasa de Correcta Clasificación (TCC) esta nos indica que el 2.5% de los resultados tienen tasas de acierto inferior o igual al 62.50%, y por ende el 97.5% tienen tasas de acierto superior al 62.50%, por otro lado, el 50% de los resultados muestran una tasa de acierto inferior o igual al 79.17%, finalmente el 97.5% de los resultados tienen tasas de acierto inferior o igual a 91.67%.

Tabla 5. Cuantiles tasa de aciertos validación *holdout* repetido

2.5%	50%	97.5%
0.6250	0.7917	0.9167

5. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura respecto al uso del análisis envolvente de datos conjuntamente con herramientas de minería de datos indica que se logra una mejora sustancial en el análisis de eficiencia y clasificación, presentando tasas bastante altas de correcta clasificación.

El modelamiento de SVM con el paquete e1071 de R utilizando el 100% de los datos presenta una tasa de correcta clasificación (TCC) del 87,5%. Por su lado la tasa de verdaderos positivo (TVP) es del 70% y la tasa de verdaderos negativos (TVF) del 100%.

El modelamiento de SVM con el paquete e1071 y validado con *holdout* repetido presenta tasa de acierto promedio del 78.83%.

Los cuantiles al 2.5% y 97.5%, nos indica que el 95% de los resultados del muestreo por *holdout* repetido presentan tasas de acierto entre 62.50%, y 91.67%, lo cual es un excelente resultado.

El resultado muestra el gran poder predictivo que tienen las Máquinas de Soporte Vectorial como herramienta de clasificación, por lo cual podría en un futuro, considerar la inclusión de otras variables del sistema educativo superior.

Una línea de investigación futura podría considerar las MSV con fines de establecer el potencial de éxito de un estudiante universitario en la culminación exitosa de sus estudios, dadas sus características socio-económicas, sus resultados académicos previos, la formación académica de sus padres, entre otros aspectos.

LISTA DE REFERENCIAS

Bazleh, A., Gholami, P. & Soleymani, F. (2011). A New Approach Using Data Envelopment Analysis for Ranking Classification Algorithms. *Journal of Mathematics and Statistics, 7*(4), 282-288.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Breiman, L. & Cutler, A. (s.f.). *Random Forests*. Disponible en https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm#ooberr

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research, 2*(6), 429-444.

Da Silva, G. & Gonçalves, E. (2015). Management of agricultural research centers in Brazil: A DEA application using a dynamic GMM approach. *European Journal of Operational Research, 240*, 819–824.

Farahmand, M., Desa, M. I. & Nilashi, M. (2014). A combined data envelopment analysis and support vector regression for efficiency evaluation of large decision making units. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 2310-2321.

Gökşen, Y., Doğan, O. & Özkarabacak, B. (2015). A Data Envelopment Analysis application for measuring efficiency of university departments. *Procedia Economics and Finance, 19*, 226 – 237.

Huguenin, J. M. (2014). *Determinants of school efficiency: the case of primary schools in the State of Geneva, Switzerland.* IDHEAP Working Paper 1/2014. Chair of Public finance. January 2014.

Jiang, B., Chen, W., Zhang, H. & Pan, W. (2013). Supplier's efficiency and performance evaluation using DEA-SVM approach. *Journal of Software, 8*(1), 25-30.

Kao, H. Y., Chang, T. K. & Chang, Y. C. (2013). Classification of hospital web security efficiency using data envelopment analysis and support vector machine. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.

Mejía, J., Sánchez, P. & Visbal, D. (2006). Evaluación docente mediante BSC y DEA. *Revista Educación en Ingeniería, 1*(2), 70-86.

Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2015). *Indicadores de Gestión de las Universidades Públicas*. Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-346086.html

Poitier, K. & Cho, S. (2011). Estimation of true efficient frontier of organizational performance using data envelopment analysis and support vector machine learning. *International Journal of Information and Decision Sciences, 3*(2), 148-172.

Song, J. & Zhang, Z. (2009). *Oil refining enterprise performance evaluation based on DEA and SVM*. In Knowledge Discovery and Data Mining, 2009. WKDD 2009. Second International Workshop on (pp. 401-404). IEEE.

Thanassoulis, E., Kortelainen, M., Johnes, G., & Johnes, J. (2011). Costs and efficiency of higher education institutions in England: a DEA analysis. *The Journal of the Operational Research Society, 62*(7), 1282-1297.

Yeh, C. C., Chi, D. J., & Hsu, M. F. (2010). A hybrid approach of DEA, rough set and support vector machines for business failure prediction. *Expert Systems with Applications, 37*(2), 1535-1541.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE UNA PROPUESTA METODOLÓGICA DE EVALUACIÓN DE CURSOS DE ENTRENAMIENTO

Carlos H. Aguilar-Bernal[1]
Alonso Pérez-Soltero[2]
Gerardo Sánchez-Schmitz[3]
René Fornés Rivera[4]

RESUMEN

La Transferencia de Conocimientos (TC) se ha convertido en un tema cada vez más recurrente para las organizaciones que compiten en mercados globalizados y competitivos. La conversión del conocimiento como un activo de producción ha llevado a la búsqueda de adquirir más conocimiento; hoy en día, muchas organizaciones gastan fuertes sumas de dinero en el desarrollo de su personal sin saber cuál es el impacto, el retorno económico y, lo más importante, si es que se cumplió con la expectativa.

El objetivo del presente trabajo es describir las variables que intervienen en la TC en Universidad-Industria a través de cursos de entrenamiento, así como definir los elementos clave a considerar en el diseño de una metodología integral para la evaluación de cursos de entrenamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las organizaciones gastan miles de dólares en capacitación, ya que los retos a los que se enfrentan requieren que la organización cuente con trabajadores cada vez más preparados. Las universidades fungen como los proveedores de conocimiento más importantes de una región; sin embargo, aún no se cuenta con mecanismos que garanticen la aplicación de los conocimientos que se trabajan en las universidades, ni se le da seguimiento a la TC hacia un entorno productivo cercano. Existen diversas investigaciones que hablan acerca de la evaluación y valoración de conocimientos creados o transferidos a partir de cursos de entrenamiento o formación, atendiendo aspectos como la motivación, la combinación de estilos de enseñanza-aprendizaje, entre otros. No obstante, aún no existe consenso acerca de una metodología que, mediante la integración de diversas herramientas, permita valorar y validar los conocimientos y competencias que se transfieren a través de cursos de entrenamiento. Para ello, es necesario identificar las variables que intervienen antes, durante y después de la TC.

Con la finalidad de aportar en resolver lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo describir las variables que intervienen en la TC en Universidad-Industria a través de cursos de entrenamiento, así como definir los elementos clave a considerar en el diseño de una metodología integral para la evaluación de cursos de entrenamiento.

La estructura del artículo está constituida de la siguiente manera: se presenta un marco de referencia donde se analizan los fundamentos teóricos de la TC y los elementos que intervienen en su evaluación; posteriormente se enlistan y describen los elementos a considerar para el diseño de una propuesta metodológica de evaluación de cursos de entrenamiento, para finalizar con una sección de conclusiones y trabajos futuros.

2. MARCO DE REFERENCIA

En esta sección se explican los conceptos generales relacionados con la transferencia de conocimiento, la evaluación de la misma, los tipos de evaluaciones y otros detalles pertinentes para el presente trabajo.

[1] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, carlos.aguilar.iis@gmail.com
[2] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, aperez@industrial.uson.mx
[3] Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, gsanchez@industrial.uson.mx
[4] Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México, rfornes@itson.edu.mx

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.1. Transferencia del conocimiento Universidad-Industria

Desde hace muchos años, se pueden rastrear actividades que involucran a profesores participando activamente como vínculo entre las Instituciones de Educación Superior (IES) y la industria, especialmente desde el desarrollo de la industria farmacéutica en el siglo XIX y quizá antes, sin embargo, la institucionalización de los vínculos entre Universidad-Industria y su incorporación a la agenda de las universidades es muy reciente (Geuna & Muscio, 2009).

En las IES, la creación y diseminación del conocimiento ocurre todos los días, en todo momento y es, sin lugar a duda, la principal razón de su existencia, por lo que se esperaría que sean estas las primeras instituciones en implementar prácticas para la gestión del conocimiento y mejora de las estrategias para conservar, transferir o evaluar conocimiento. No obstante, las IES han sido bastante lentas en la implementación de prácticas para la gestión del conocimiento (Al-Zoubi, 2014; Wedman & Wang, 2005; Townley, 2003).

La TC Universidad-Industria es vista como la conexión existente entre la investigación y la enseñanza que ocurre dentro de las paredes de las IES con el mundo que existe fuera de ellas (Armstrong, 2008).

2.2. Factores que influyen en la transferencia de conocimientos

Mediante una revisión de la literatura, hemos logrado identificar muchos factores que han sido resaltados y considerados de importancia en la valoración y evaluación de la TC.

Por ejemplo, Janine (2011) enlista en su trabajo algunos de los factores principales que influyen durante la TC entre la universidad y la industria; algunos de ellos son: lograr determinar las necesidades de la industria, el involucramiento de la industria en el diseño de contenidos, la compartición de conocimientos y experiencias, y conceptualizar correctamente las etapas de la TC.

Por otra parte, los factores asociados al participante son muy importantes, ya que las organizaciones pueden desperdiciar mucho dinero en entrenamiento y el empleado decidir no usar el conocimiento adquirido (Gegenfurtner *et al.*, 2009).

Holton (1996) sugiere que el desempeño de un participante en el entrenamiento depende de tres factores o influencias primarias: habilidad, motivación y ambiente. La habilidad se refiere a la capacidad que tiene el participante para asimilar información; la motivación se refiere al interés del participante por aprender y/o mejorar su desempeño, la cual ha sido identificada por varios autores (Gegenfurtner *et al.*, 2009; Rowold, 2007; Kang & Kim, 2010; Grossman & Salas, 2011; Holton, 2005) como la influencia más importante para el éxito del entrenamiento; y el ambiente es usualmente asociado a la facilidad y el entorno propicio para poner en práctica lo aprendido y convertirlo en un comportamiento (Purohit, 2015).

2.3. El entrenamiento como una práctica de transferencia de conocimientos

El entrenamiento y desarrollo del recurso humano, permiten a una organización adaptar, innovar, mejorar y hacer más seguros sus procesos y actividades (Smith-Jentsch *et al.*, 2012). Por ejemplo, se ha demostrado que reduce ampliamente los errores en salas de emergencia médica (Rothenberger *et al.*, 2015), aviación (Taylor, 2000) y la milicia (Pasquier *et al.*, 2016).

La TC se ha convertido en una actividad vigente en las operaciones y en la planeación de todas las organizaciones, en la que además se ha invertido mucho dinero. Tan solo en 2015, según reportes de la American Society for Training & Development ([ASTD], 2015), las organizaciones en los Estados Unidos gastaron en promedio $1229 USD por empleado en entrenamiento, por otra parte Training Magazine (2015) reporta gastos totales globales que sobrepasan los $70 billones de dólares en gastos referentes al entrenamiento (Blume *et al.*, 2010; Raji, 2016), con un promedio entre los $350,000 dólares y casi $13 millones de dólares entre la pequeña y la gran empresa. Las organizaciones están de acuerdo en que el recurso

ISBN: 978-958-5430-49-5

humano juega un rol vital, y cada vez son más las empresas que invierten fuertes cantidades de dinero en entrenamiento, en búsqueda de mejorar todos los indicadores operacionales (Raji, 2016).

El entrenamiento a través de programas educativos y en el lugar de trabajo juega un rol muy importante en la formación de personal capacitado. Sin embargo, uno de los retos en el área del entrenamiento es el desarrollo de métricas para evaluar el nivel de conocimiento adquirido, ya que suele ser una tarea que además de consumir mucho tiempo, resulta ser bastante costosa (Sitzmann *et al.*, 2010).

2.4. Evaluación de cursos de entrenamiento

Aun cuando se realizan grandes gastos en entrenamiento, la mayoría de los tomadores de decisiones no saben en qué medida mejoran sus empleados después del entrenamiento (Blume *et al.*, 2010). La evaluación del entrenamiento es una de las fases más importantes del proceso ADDIE (Analizar, Diseñar, Desarrollar, Implementar y Evaluar). A pesar de su importancia, no siempre se realiza con todas las cualidades requeridas, por lo que dificulta la demostración de los resultados económicos y el apoyo a futuras inversiones (Wang & Wilcox, 2006).

Para diseñar un programa de evaluación, es necesario llevar un orden lógico que permita generar las conclusiones que se esperan. Para ello, Zinovieff (2008) presenta una metodología de 10 pasos para diseñar un programa de evaluación para un curso de entrenamiento (figura 1).

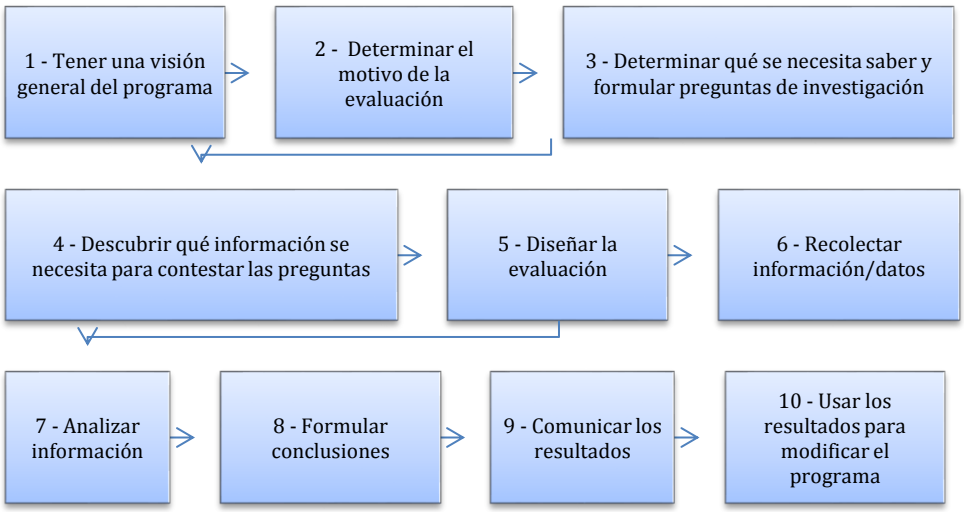


Figura 1. Pasos para la elaboración de un programa de evaluación para un curso de entrenamiento. Fuente: Traducida de Zinovieff (2008)

La mayoría de las organizaciones evalúan los cursos utilizando sólo el primer nivel de la metodología de Kirkpatrick (1967), con un cuestionario que mide la satisfacción de los participantes (Lee-Kelley & Blackman, 2012), a pesar de que se ha demostrado no ser concluyente (Holton, 1996; Holton *et al.*, 2000; Holton & Naquin, 2005); y es que mientras a los participantes les puede agradar mucho el entrenamiento, el hecho de que el entrenamiento sea positivo para el desarrollo de sus conocimientos, habilidades y competencias no es consecuente de ello (Blume *et al.*, 2010), por lo que las organizaciones, en la mayoría de los casos, ni siquiera se dan cuenta de que el entrenamiento no ha sido el adecuado.

3. ELEMENTOS CLAVE A CONSDIERAR EN UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR CURSOS DE ENTRENAMIENTO

Muchos de los modelos que se utilizan actualmente (Tan & Newman, 2013; Abdulghani *et al.*, 2014; Yoon *et al.*, 2016) están basados en la metodología de Kirkpatrick (1996) o una adecuación de la misma (Parker *et al.*, 2011; Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2009; Aluko & Shonubi, 2014; Phiri & Reddy, 2016). Dicha metodología se enfoca en cuatro fases: evaluación de la satisfacción (percepciones), del conocimiento adquirido (aprendizaje),

ISBN: 978-958-5430-49-5

la aplicación del conocimiento (comportamiento) y el impacto del mismo (resultados). Partiendo de ese modelo, se buscó añadir elementos clave identificados en la literatura que favorezcan la evaluación de cursos de entrenamiento de manera integral.

A lo largo de los años, múltiples autores han estudiado diversas variables y/o elementos que intervienen durante la TC entre universidad-Industria. A continuación, en la tabla 1 se muestra un resumen de los elementos a considerar encontrados después de hacer una revisión bibliográfica y que apoyarían a realizar una evaluación de cursos de entrenamiento de manera integral.

Tabla 1. Elementos clave para la integración de una metodología para evaluar cursos de entrenamiento

TIPO	ELEMENTO A EVALUAR	AUTOR
Evaluación formativa	• Factores internos y externos que impactan la transferencia de conocimientos.	(Biggs *et al.*, 2001)
	• Estilos de aprendizaje y enseñanza.	(Kolb & Kolb, 2005)
Evaluación Sumativa	• Perspectiva utilidad.	(Alliger *et al.*, 1997)
	• Perspectiva sobre los instructores del curso y los elementos del curso.	(Draper, 2012).
	• Conocimiento adquirido.	Flatten *et al.* (2011)
	• Valoración de dominios cognitivos.	(Kasilingam & Chinnavan, 2014)
	• Simulación de casos de aplicación.	(Negut *et al.*, 2016)
	• Observación de las habilidades en aplicaciones controladas.	(Alam *et al.*, 2016)
	• Análisis de 360°.	(Steensma & Groeneveld, 2010)
Evaluación confirmativa	• Análisis de indicadores de desempeño.	(Siniscalchi *et al.*, 2008; Sousa & Veiga, 2009; Rossi & Rosli, 2013)
	• Retorno en la expectativa.	Kirkpatrick & Kirkpatrick (2013)
	• Retorno en la expectativa de cada involucrado.	(Moldovan, 2016)
Meta-Evaluación	• Correlación entre la evaluación a corto y largo plazo.	Grohmann & Kauffeld (2013)
	• Correlación de variables y resultados.	(Ghosh *et al.*, 2010)

A continuación, se explican los elementos clave:

- ***Evaluación formativa:*** En este grupo encontramos el análisis de factores internos y externos, así como los estilos de enseñanza y aprendizaje. El objetivo de este grupo es identificar el efecto que tienen factores como: el diseño de los materiales y las actividades (internos), la facilidad de acceso y el estado de las instalaciones (externos) y los resultados de la combinación de la forma en que los estudiantes aprenden y los instructores enseñan.
- ***Evaluación sumativa:*** El objetivo de este grupo es valorar el conocimiento y las habilidades adquiridas en la TC. Para ello se contempla utilizar las perspectivas de utilidad, del instructor y los materiales, ya que se ha demostrado que cuando los participantes no perciben que sea de utilidad, no se relacionan o identifican

ISBN: 978-958-5430-49-5

con los instructores y no comprenden o consideran inapropiados los materiales, las probabilidades de transferir conocimientos se reducen considerablemente. Además, se busca obtener evidencias de que los conocimientos y las habilidades han sido adquiridas por los participantes, para ello se utilizan cuestionarios basados en la teoría de la adquisición del conocimiento, los dominios cognitivos y se utilizan formularios de observación para la demostración de habilidades y su valoración colectiva (análisis 360°).

- ***Evaluación confirmativa:*** Este grupo se caracteriza por reafirmar los efectos y beneficios de la TC. Para ello, se considera utilizar indicadores de desempeño organizacional e individual, así como el análisis de brechas entre las expectativas y los resultados obtenidos (Retorno sobre la expectativa).
- ***Meta-evaluación:*** El objetivo es el análisis de todos los factores y variables para determinar lo que hay que mejorar, mantener y descartar. Además, permite mejorar la metodología y proponer actualizaciones o futuras adecuaciones.

Estos elementos se pudieran incluir en una metodología para evaluar los cursos de entrenamiento en tres fases. Una fase de evaluación pre-curso que comprende a la evaluación formativa, una fase de evaluación post-curso comprendida por la evaluación sumativa (corto plazo) y confirmativa (largo plazo) y la fase meta-cognitiva que funge como retroalimentación.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de la transferencia del conocimiento es de suma importancia, ya que lo que no se mide difícilmente se puede mejorar. Los elementos que se presentan en este artículo sugieren mejoras respecto a las ausencias identificadas en la literatura, planteando una solución integral a la problemática identificada, sirviendo no sólo a los instructores en la valoración de conocimientos y habilidades, sino a los desarrolladores de los cursos de entrenamiento a obtener un panorama completo de los resultados de la TC.

Se espera que el desarrollo de una metodología de estas características impacte directamente en las organizaciones, generando confianza en ellas para apostar al desarrollo del recurso humano y mejorar así la competitividad de las mismas.

Entre los trabajos futuros, actualmente se está desarrollando una metodología integral que considera los elementos clave explicados en este trabajo. Esta metodología pretende ser aplicada en una universidad en el norte de México para darle seguimiento al impacto generado por la institución a través de sus cursos de capacitación y entrenamiento.

También será necesario probar la metodología y realizar las adecuaciones que se consideren necesarias hasta obtener los resultados esperados. Además, para facilitar el seguimiento y el manejo de los datos, se está trabajando en el diseño de una plataforma electrónica que permita optimizar lo antes mencionado.

Por otro lado, se considera que, en los años próximos, con el desarrollo de la realidad virtual y las nuevas tecnologías, se podría experimentar con su uso para la valoración y validación de competencias en entornos simulados, que permitan generar resultados en tiempo real, más certeros y confiables.

LISTA DE REFERENCIAS

Abdulghani, H. M. *et al.* (2014). Research methodology workshops evaluation using the Kirkpatrick's model: translating theory into practice. *Medical teacher, 36*(1), S24-S29.

Alam, I. *et al.* (2016). Mini-Cex : an Assessment Tool for Observed Evaluation of Medical Postgraduate Residents During Their Training Program : an Overview and Recommendations for Its Implementation. *J Postgrad Med Inst, 30*(2), 110-114.

Alliger, G. M. *et al.* (1997). A Meta-Analysis of the Relations Among Training Criteria. *Personnel Psychology, 50*(2), 341-358.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Aluko, F.R. & Shonubi, O. K. (2014). Going beyond Kirkpatrick's Training Evaluation Model: The role of workplace factors in distance learning transfer. *Africa Education Review, 11*(4), 638-657.

Al-Zoubi, D. M. (2014). Improving Teaching and Learning at Universities- the Use of Knowledge management. *International Journal of Advanced Corporate Learning*, 7, 32-39.

American Society for Training & Development (2015). 2015 State of the industry. *ASTD Research Department*.

Armstrong, J. (2008). Knowledge transfer - connecting universities with communities. *The Melbourne Review*, *4*(1), 20-26.

Biggs, J., Kember, D. & Leung, D. Y. P. (2001). The Revised Two Factor Study Process Questionnaire : R-SPQ-2F The Revised Two Factor Study Process Questionnaire : R-SPQ-2F. *British Journal of Educational Psychology*, 71, 133-149.

Blume, B. D. *et al.* (2010). Transfer of training: A meta-analytic review. *Journal of Management, 36*(4), 1065-1105.

Draper, F. J. (2012). *Development of a Student-Centered Evaluation Framework for Environmental Vocational Education and Training Courses*. USA: University of Bradford.

Flatten, T. C. *et al.* (2011). A measure of absorptive capacity: Scale development and validation". *European Management Journal*, 29(2), pp.98-116.

Gegenfurtner, a. et al. (2009). "Integrative Literature Review: Motivation to Transfer Training: An Integrative Literature Review. *Human Resource Development Review, 8*(3), 403-423.

Geuna, A. & Muscio, A. (2009). The Governance of University Knowledge Transfer : A Critical Review of the Literature. *Minerva: A review of Science, Learning and Policy, 47*(1), 423-431.

Grossman, R. & Salas, E. (2011). The transfer of training: What really matters. *International Journal of Training and Development*, *15*(2), pp.103-120.

Holton, E. F. (2005). Holton's Evaluation Model: New Evidence and Construct Elaborations. *Advances in Developing Human Resources, 7*(1), 37-54.

Holton, E. F. (1996). The flawed four-level evaluation model. *Human Resource Development Quarterly, 7*(1), 5-21.

Holton, E. F. & Naquin, S. (2005). A critical analysis of HRD evaluation models from a decision-making perspective. *Human Resource Development Quarterly, 16*(2), 257-280.

Holton, E.F., Bates, R.A. & Ruona, W. E. A. (2000). Development of a Generalized Learning Transfer System Inventory. *Human Resource Development Quarterly, 11*(4), 333-360.

Janine, E. R. (2011). *Knowledge Transfer From University To Industry*.

Kang, M. & Kim, Y. G. (2010). A Multilevel View on Interpersonal Knowledge Transfer. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *61*(3), 483-494.

Kirkpatrick, D. (1967). Evaluation of training. En *Training Evaluation Handbook*. McGraw-Hill, pp. 40-61.

Kirkpatrick, D. (1996). Great Ideas Revisited. Techniques for Evaluating Training Programs. Revisiting Kirkpatrick's Four-Level Model. *Training and Development, 50*, 54-59.

Kirkpatrick, J. & Kirkpatrick, W. (2009). The Kirkpatrick Four Levels ™ : A Fresh Look After 50 Years 1959 - 2009. *Kirkpatrick Partners*, (April), pp.1-12.

Kirkpatrick, J. D. & Kirkpatrick, W. (2013). Creating a Post-Training Evaluation Plan. *T+D, 67*(6), 26-28.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Kolb, A. Y. & Kolb, D. (2005). *The Kolb Learning Style Inventory-Version 3.1. 2005 Technical Specifications.* Boston, USA: Hay Resources Direct.

Lee-Kelley, L. & Blackman, D. (2012). Project training evaluation: Reshaping boundary objects and assumptions. *International Journal of Project Management, 30*(1), 73-82.

Moldovan, L. (2016). Training Outcome Evaluation Model. *Procedia Technology*, 22(October 2015), 1184-1190.

Negut, A. *et al.* (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: a meta-analytic review. *Clinical Neuropsychologist, 30*(2), 165-184.

Parker, K. *et al.* (2011). Going Beyond Kirkpatrick in Evaluating a Clinician Scientist Program : It ' s Not « If It Works » but « How It Works ». *Academic Medicine, 86*(11), 1389-1396.

Pasquier, P. *et al.* (2016). A Serious Game for Massive Training and Assessment of French Soldiers Involved in Forward Combat Casualty Care (3D-SC1): Development and Deployment. *JMIR Serious Games*, *4*(1), p.e5.

Phiri, M. A. & Reddy, T. (2016). Human Capital Return on Investment (ROI) in Training : The Case of Department of Trade and Industry (DTI). *7*(1), 48-59.

Purohit, S. K. (2015). Utilization of Training and Development to Increase Ability and Skill of Employees in Organisations. *The International Journal Of Business & Management, 3*(2), 86-94.

Raji, M. K. (2016). Human resource development through training and development : A case study of HAL Lko. *International Journal of Applied Research, 2*(3), 353-359.

Rossi, F. & Rosli, A. (2013). Indicators of university-industry knowledge transfer performance and their implications for universities: Evidence from the UK's HE-BCI survey. *Birkbeck & Univ. of Wolverhampton*, (13), 1-24.

Rothenberger, J. *et al.* (2015). Evaluation of medical students' attitudes and performance of basic surgery skills in a training program using fresh human skin, excised during body contouring surgeries. *Journal of Surgical Education, 72*(5), 868-874.

Rowold, J. (2007). The Impact of Personality on Training-Related Aspects of Motivation: Test of a Longitudinal Model. *Human Resource Development Quarterly, 18*(1), 9-31.

Siniscalchi, J. M., Beale, E. K. & Fortuna, A. (2008). Using Importance-Performance Analysis to Evaluate Training. *Performance Improvement*, *47*(10), 32-34.

Sitzmann, T. et al. (2010). Self-assessment of knowledge: A cognitive learning or affective measure?. *Academy of Management Learning and Education, 9*(2), 169-191.

Smith-Jentsch, K. A. *et al.* (2012). The Science of Training and Development in Organizations: What Matters in Practice The Science of Training and Development in Organizations : What Matters in Practice. *Psychological Science in the Public Interest, 13*(2), 74-101.

Sousa, R. N. & Veiga, M. M. (2009). Using performance indicators to evaluate an environmental education program in artisanal gold mining communities in the Brazilian Amazon. *Ambio, 38*(1), pp.40-46.

Steensma, H. & Groeneveld, K. (2010). Evaluating a training using the «four levels model». *Journal of Workplace Learning*, *22*(5), 319-331.

Tan, K. & Newman, E. (2013). The Evaluation of Sales Force Training in Retail Organizations: A Test of Kirkpatrick's Four-level Model. *International Journal of Management, 30*(2), 692-704.

Taylor, J. C. (2000). A new model for measuring return on investment (ROI) for safety programs in aviation: an example from airline maintenance resource management (MRM). *SAE Technical Paper*.

Townley, C. (2003). Will the academy learn to manage knowledge?. *Educause Quarterly, 26*(2), 8-11.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Training Magazine (2015). 2015 Training Industry Report. *November/December Training Magazine*, (Vol. 52, No. 6).

Wang, G. G. & Wilcox, D. (2006). Training Evaluation: Knowing More Than Is Practiced. *Advances in Developing Human Resources, 8*(4), 528-539.

Wedman, J. & Wang, F. K. (2005). Knowledge management in higher education: A knowledge repository approach. *Journal of Computing in Higher Education, 17*(1), 116-138.

Yoon, H. B. *et al.* (2016). Evaluation of continuing professional development training program for physicians and physician assistants in hospitals in Laos based on the Kirkpatrick model. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions, 13*, 21.

Zinovieff, M. A. (2008). *Review and Analysis of Training Impact Evaluation Methods , and Proposed Measures to Support a United Nations System Fellowships Evaluation Framework*, Geneva.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

MANUFACTURA ESBELTA Y MANEJO DE BODEGAS DE CARGA. UNA APROXIMACIÓN RÁPIDA A LA LITERATURA

Eduardo Ocampo Ferrer[1]

RESUMEN

En los últimos cinco años a partir de las necesidades de los tratados de libre comercio y el aumento de la capacidad productiva del país, se ha hecho un incremento significativo de la capacidad instalada para la gestión logística de carga tanto nacional como internacional. Del mismo modo se ha visto un crecimiento en el número de pasajeros tanto de negocios como de turismo por vía aérea. El presente artículo hace una revisión rápida de literatura sobre manufactura esbelta partiendo de la conceptualización básica sobre lean para posteriormente introducir algunos ejemplos encontrados sobre su uso en el sector aéreo.

1. INTRODUCCIÓN

El término *"lean"* ha venido utilizándose en el empresarial y académico hace varios años para identificar una "filosofía", una forma de pensar o para otros, un conjunto de herramientas que tienen como base común la búsqueda de mejores resultados: mayor calidad, rapidez y menores costos, en la organización a partir de minimización del desperdicio. La bondad del *lean* está en su poca o nula dependencia de algún nivel de implementación de tecnologías específicas, sino que se encuentra basada en el mejoramiento de los procesos existentes al interior, eliminando las actividades que no aportan valor a los clientes y generando la flexibilidad necesaria para el manejo de una demanda cambiante (Gómez, 2010) (Cuatrecasas, 2006).

Las evidencias bibliográficas dan cuenta de una amplia utilización en el sector productivo de la economía dado su origen, sin embargo, esto no ha implicado que sea exclusivo y por el contrario se ha encontrado como empresas dedicadas a la prestación de diversos servicios al interior de la economía han hecho utilización de todo o parte de las herramientas en sus procesos de mejora, como es el caso de las aerolíneas tanto de carga como de pasajeros.

Los antecedentes en el sector aéreo tienen variados orígenes. Desde procesos de mejora por parte de empresas fabricantes como *Boeing* hasta la utilización de herramientas *"lean"* por parte de aerolíneas de todos los confines del mundo en sus procesos.

2. ORIGEN DEL LEAN

Los autores analizados presentan como origen común del lean el sistema de producción de Toyota o TPS. El TPS es documentado formalmente en la década del 60 en Japón y para el habla inglesa en el año de 1977 (Gómez, 2010). Sin embargo, no es sino hasta la década del noventa cuando Womack & Jones (1992), acuñan el termino para presentar el método de producción de la gigante del sector automovilístico y sus diferencias con la forma de trabajar en occidente.

2.1. Del *Lean Thinking* al *Lean Manufacturing*

El éxito de la metodología se fundamenta en su búsqueda de producir lo que se necesita, en la cantidad que se necesita y cuando se necesita eliminando toda clase de actividad que no aporte al valor al producto (Gómez, 2010), por medio de la coordinación de actividades entre productor y proveedor (Alaéz, 1996) y en la innovación en la forma de hacer cada una de las actividades de la planta y en los mecanismos de control en la empresa (Naylor, Naim & Berry, 1999)

[1] Fundación Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá, Colombia, eduardo.ocampo@fuac.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

Beneficios del lean thinking	Necesita menos recursos humanos para diseñar, fabricar, y servir los productos.
	Necesita un menor volumen de inversión para conseguir un volumen determinado de capacidad productiva
	Fabrican productos con un menor nivel de defectos y retrabajos
	Se manejan menos proveedores pero con mayor calificación
	Se puede fabricar una mayor gama de productos con un menor costo, con el objetivo de mantener precios y ganar una cuota de mercado
	Se necesita un menor nivel de inventario en cada fase del proceso.

Tabla 1. Beneficios del *lean*

Para poder entender esto se debe remitir al concepto de valor el cual es definido por Porter (1985), el cual define lo como la suma de los beneficios percibidos por el cliente como recibidos frente al costo percibido por él al adquirir y usar un producto o servicio. Entonces en ese sentido cuando se piensa en aplicar lean en una organización, el objetivo principal es generar valor a todos los involucrados, para entender el modelo conceptual de *lean*, es decir, los principios o reglas y las herramientas que permiten desarrollarlas se desarrolló la tabla 2.

Cadena de Valor	Flujo Continuo	Pull flow	Mejora continua
• 7 Mudas (Desperdicios) • VSM - Value Stream Mapping	• 5`s • TPM • One piece flow • SMED • Gestión visual • Jidoka • Poka Yoke	• Kanban • Heijunka (Secuenciación)	• Kaizen • PDCA AMFE • six sigma

Tabla 2. Conceptos y herramientas *lean*

Esta tabla resume los conceptos y herramientas genéricos propios de la teoría *Lean*, la cual tiene aplicación en múltiples sectores industriales, como pueden ser: automoción, aeronáutico, médico, alimentación, a la vez que en el sector servicios (*Lean Service*), procesos de diseño (*Lean Design*) y la cadena de suministro de un proceso productivo (*Lean Supply Chain*); si bien cada uno de ellos introducirá una serie de particularidades.

3. LAS SIETE MUDAS

Las siete mudas fueron definidas por el responsable de establecer el sistema de producción en Toyota, Taiichi Ono, los cuales fueron definidos como "*Waste*" en inglés y "*Muda*" en japonés, es toda actividad que no aporta valor al producto o servicio pero que consume recursos. Los siete desperdicios son los siguientes:

Es posible sin embargo identificar otro tipo de desperdicios incluidos en los siete, mencionados anteriormente o diferentes, por lo cual algunos autores ya hablan no solo de siete mudas sino de diez:

- Falta de seguridad.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- No aprovechar las ideas de mejora de las personas de la organización.
- Los errores en el diseño de procesos (En la fase de ingeniería – diseño).

En la base del *Lean Manufacturing* está el establecimiento de un proceso de mejora basado en saber qué aporta valor y qué no lo aporta, eliminar o reducir las actividades que no aportan valor. Traducido a una tarea concreta, identificar el desperdicio: Del tiempo total dedicado a la tarea, habrá parte en la que se aporte valor y parte en la que no, (cambiar cosas) para eliminar tiempo que no aporte valor, asignar operaciones que aporten valor.

3.1. Identificación de la cadena de valor

La cadena de valor es una secuencia de actividades o pasos (con y sin aporte de valor) desarrolladas para conseguir un determinado producto o servicio. El análisis lleva a identificar los desperdicios actuales y definir la cadena de valor futura objetivo. Existe una importante herramienta en Lean Management llamada mapa de flujo de valor (VSM, por su sigla en inglés, *Value Stream Map*), pero para poder hablar de ella es necesario explicar primero el concepto de 'cadena de valor'. John Shook (Rother & Shook, 1999) la define como: [...] el conjunto de acciones (tanto de valor agregado como las que no agregan valor) que se necesitan actualmente para mover un producto a través de los principales flujos esenciales para cada uno de ellos: 1) el flujo de producción, desde la materia prima hasta las manos del consumidor y 2) el flujo de diseño, desde el concepto hasta el lanzamiento.

Para trabajar con este concepto se debe tener en cuenta todo el conjunto y no solo los procesos individuales. Esta es una herramienta eficaz desarrollada por Rother & Shook (1999) como método para identificar la muda (desperdicio).

El VSM es una herramienta utilizada para analizar de forma global la cadena de valor, más allá del análisis de un único proceso y recogiendo únicamente ciertos datos generales de las distintas operaciones que se realizan. El objetivo del mapeado de la cadena de valor es obtener una perspectiva general del conjunto, no sólo de los procesos individuales, y mejorar todo, no sólo optimizar las partes. A partir de la información recopilada se debe establecer cuál es la situación objetivo con el mapa futuro de la cadena de valor. Por último, se establecerá un plan de acciones donde se especificarán los cambios que es necesario realizar y los encargados de los mismos.

Así mismo para reducir "desperdicios" en una cadena de valor, la teoría indica que se deben crear flujos continuos. Se entiende por flujo continuo la integración de procesos de acuerdo a la secuencia de fabricación de manera que los productos avanzan en lotes de transferencia unitarios. Por el contrario, en un flujo intermitente, los procesos están aislados y la conexión entre los mismos se realiza por medio del transporte de materiales en lotes de transferencia de varias unidades.

El siguiente concepto que utiliza el lean en la creación de un flujo continuo es el *Takt-time*. La idea es que si todos los procesos (establecidos en flujo continuo o trabajando de forma aislada) se diseñan para trabajar al mismo ritmo que la demanda, se conseguirá que el material avance al mismo ritmo a lo largo de toda la cadena de valor y por lo tanto la acumulación de material será menor. Esto es lo que se conoce como sincronización.

3.2. Flujo continuo

A la hora de organizar la cadena de valor, la prioridad es establecer flujos continuos (pieza a pieza) en todos los puntos en los que sea posible. Sin embargo, hay situaciones que imposibilitan el establecimiento de un flujo continuo:

- Procesos que trabajan por lotes: Hornos, baños...
- Procesos con diferencias importantes en tiempos de ciclo o tiempos de preparación
- Procesos con ineficiencias en averías o defectos.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- Procesos no dedicados que sirven a distintas líneas de productos.
- Procesos alejados en los que es necesario acumular un lote de transferencia lo suficientemente grande como para optimizar el transporte.

Hay una serie de elementos que condicionan la estrategia de producción y la forma en la que se planifica:

- Plazo de entrega comprometido con los clientes.
- Lead time del proceso.
- Estructura de componentes: modularidad y comunalidad.

3.3. Mejora continua

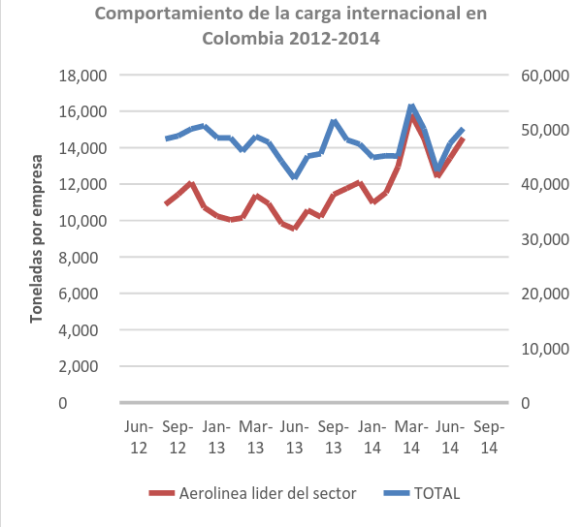
3.3.1. Kaizen

La palabra *Kaizen* proviene de dos ideogramas japoneses: *"Kai"* que significa cambio y *"Zen"* que quiere decir para mejorar. Así, podemos decir que *"Kaizen"* es "cambio para mejorar" o "mejoramiento continuo". El pilar fundamental que sustenta el *Kaizen* son los equipos de trabajo, que se emplean para mejorar los procesos productivos. De hecho, *Kaizen* se enfoca a la gente y a la estandarización de los procesos. Su práctica requiere de un equipo integrado por personal de producción, mantenimiento, calidad, ingeniería, compras y demás empleados que el equipo considere necesario. Su objetivo es incrementar la productividad controlando los procesos de producción mediante la reducción de tiempos de ciclo, la estandarización de criterios de calidad, y de los métodos de trabajo por operación. Además, *Kaizen* también se enfoca a la eliminación de desperdicio, identificado como "muda", en cualquiera de sus formas.

3.4 El transporte de carga

El segundo objetivo de este trabajo es introducir un panorama del sector aéreo de carga en la República de Colombia y las posibilidades que tiene de utilizar herramientas *lean* para su mejora. Para tal efecto se presentan los datos estadísticos de transporte de carga para los años 2012 a 2014.

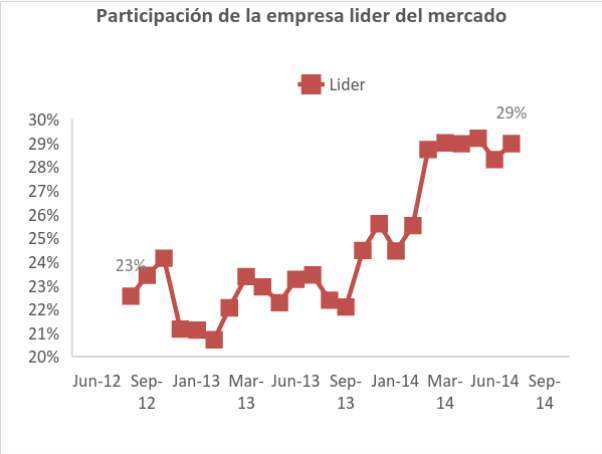
Figura 1. Comportamiento del transporte de carga internacional en Colombia de 2012-2014



Fuente: Guerrero *et al.* (2015)

Figura 2. Participación de la empresa líder del mercado en el total de la carga transportada 2012-2014

ISBN: 978-958-5430-49-5



Fuente: Guerrero *et al.* (2015)

3.5 Experiencias *Lean* en sector aéreo en Colombia

El transporte aéreo de carga cuenta con ventajas con relación a las demás modalidades de transporte como lo son: entregas en menor tiempo y mayor velocidad de operación. Por otro lado, se encuentran una serie de dificultades asociadas, las cuales para mantener la tendencia de mejoramiento continuo se deben abordar como lo son (Guerrero, 2015).

Exceso de operaciones repetidas: detallado cuando se realiza el papeleo para el cargue de la mercancía a las bodegas de los aviones y durante la asignación de turnos a los camiones para su atención. Esto genera tiempos de permanencia en la terminal de carga superiores a tres (3) horas en el 25% de los vehículos (González & Sarmiento, 2015).

Posibilidad de personal subutilizado en los momentos donde la operación es baja o hay un transcurso largo de tiempo sin recibir mercancía para el cargue. Principalmente en las horas de la mañana cuando la operación presenta puntos bajos de congestión ya que las principales horas de entrega son en la tarde y noche hasta la madrugada.

Tiempos muy prolongados de espera en operación por parte de los clientes que esperan el turno para cargue en los aviones, durante este tiempo puede ocurrir deterioro de la mercancía (en caso de perecederos), elevados costos de operación (cuando se costea por tiempo). Como podemos identificar en datos recopilados por (Asocolflores, 2015) Con permanencia para el 43% de los vehículos que entregan mercancía de entre una (1) a tres (3) horas en la terminal.

Desaprovechamiento de capacidad operativa, observado en los momentos que los operarios están en tiempo ocioso en los lapsos de bajo flujo de mercancía, con esto existe un amplio campo de mejora para aplicar conceptos que se están convirtiendo en tendencia mundial para optimización de procesos, buscando un impacto positivo en utilización de instalaciones, reduciendo costos a los clientes con reducción de tiempos en operación para los camiones que hacen entrega y aprovechando los recursos de manera que permitan maximizar utilidades, mejorar el servicio y continuar mejorando los procesos.

4. EXPERIENCIAS LEAN A NIVEL INTERNACIONAL

El Sector Aeronáutico y en especial el transporte aéreo de pasajeros y carga requiere de permanente innovación y cambio en el interior de su gestión operativa y administrativa, dichas empresas se han visto abocadas a revisar sus procedimientos y procesos implementando diversos sistemas que les ayude a mantenerse en el mercado y así mismo generar crecimiento altamente competitivo.

De este modo empresas como Boeing, EE.UU. Airways, Fedex, Lufthansa y Mexicana de Aviación han implementado *Lean*, quienes conscientes de la importancia de un cambio organizacional han estimulado e impulsado a sus equipos de trabajo a tomar esta filosofía de vida diaria.

ISBN: 978-958-5430-49-5

En este sentido *Lean* como disciplina simple y sencilla orientada a la productividad permite medir objetivos alcanzables en procesos de servicio y operativos agregando valor en cada actividad realizada como ejemplo de investigación e implementación de *Lean* en el Sector Aeronáutico se puede destacar "el caso Boeing en el año 1999 cuando La línea de montaje en movimiento del 737 es el símbolo clave de las mejoras Lean de la planta" (Ledezma, 2012)

La línea de montaje transporta productos de un equipo al siguiente a un ritmo continuo de cinco (5) centímetros por minuto, si se revisa la cadena de producción va avanzando lentamente, garantizando un flujo continuo sin problemas, de principio a fin. Esto también requiere la asignación adecuada de recursos humanos y la formación del personal reduciendo costos, agilizando y optimizando procesos siempre en busca de mejoran la calidad (Ledezma, 2012)

Se utiliza un sistema JIT que ofrece a los clientes internos y externos lo que quieren, cuando quieren, y al menor costo posible, otro caso de implementación *Lean* es en la Aerolínea Mexicana de Aviación donde en el año 2010 por medio de entrevistas, visitas de observación y análisis de datos históricos en el Departamento de embarques se abordaron problemas que se podrían solucionar mediante las herramientas y técnicas que plantea la filosofía *Lean* (Hernández, González, Valenzuela & Saavedra, 2010).

Otro estudio de caso es el de la Aerolínea EE.UU. Airways quienes en el año 2012 tomo los conceptos de manufactura esbelta para aplicarlos a la división de catering mejorando así la gestión de inventarios y creando flujos de trabajo eficientes, contrató a consultores para ayudar a crear el marco para la gestión de *catering* con *Lean*, y buscó comentarios de varios grupos de trabajo sobre el diseño del programa. Mediante el uso de técnicas de *Lean* EE.UU. Airways ha pasado a un "justo a tiempo" esquema de producción que reduce el inventario en los cinco sitios, mediante el uso de *Lean*, el inventario de catering en las manos ha sido recortada de dos semanas a una (Ranson, 2012).

También se referencia al estudio de caso hecho en México "Análisis de los procedimientos de almacén de una línea de carga aérea" donde se observan los procedimientos en el almacén técnico aeronáutico para poder identificar sus principales problemas con la finalidad de encontrar sus causas raíz y proponer posibles soluciones a estas, encontrando en un 80% la solución al problema de almacenamiento.

5. CONCLUSIONES

Como se puede apreciar, la posibilidad de implementar Lean en entornos fuera del taller de producción y en especial en el sector aeronáutico es altamente probable. Si bien, no se han encontrado evidencias contundentes de la utilización total de la teoría en entornos aeronáuticos, la utilización parcial de esta a través de herramientas para procesos específicos, permite dilucidar una corriente de trabajo e investigación bastante amplia.

LISTA DE REFERENCIAS

Arrieta Posada, J. G., Botero Herrera, V. E. & Romano Martínez, M. J. (s.f.). *Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección de Medellín, Colombia*. Recuperado desde Journal of Economics Finance and Administrative Science, Disponible en: http://jefas.esan.edu.pe/index.php/jefas/article/view/67

Asocolflores. (2015). asocolflores.org. Recuperado desde Florycultura Asocolflores disponible en: http://asocolflores.org/aym_images/files/CENTRO_DE_DOCUMENTACION/PROMOCION%20Y%20COMUNICACIONES/ASOCOLFLORES%20Ed06.pd

Ballesteros, P. (2008). *Algunas reflexiones para aplicar la manufactura esbelta en empresas colombianas.* Recuperado desde: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903839

Cabrera, R. C. (s.f.). *VSM Mapeo del Flujo de Valor. VSME: Extendido para cadena de suministro*. Recuperado desde: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tzgAUpkc4-

ISBN: 978-958-5430-49-5

cC&oi=fnd&pg=PA3&dq=value+stream+mapping+just+in+time+en+operaciones+logisticas+de+transporte+aereo&ots=Fp0IXpTTSK&sig=NwwoC-4_HCTiPRYmUlliiPls0Uo#v=onepage&q&f=false

Cañar, H. I. (2010). *Escuela Politécnica Nacional*. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2334. Recuperado el 21 de 05 de 2015, Proceso de Mejoramiento a través de la metodología Lean, del proceso de gestión de despachos de equipos electrónicos serializados de telecomunicaciones en el operador logístico "ABC", ubicada en la ciudad de Quito: http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2334/1/CD-3083.pdf

Cuatrecasas, L. (2006). *Instituto Lean Management.* (i. l. management, Ed.) Recuperado desde Indicadores de control para la mejora de un proceso de acuerdo con los principios de la producción lean: http://www.institutolean.org

De Basurto, P. D. & De Arbulo, P. R. (2003). *http://adingor.es*. *V Congreso de Ingeniería de Organización.* Valladolid, España. http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2003/Art_042.pdf

Farfan, H. E. (2009). *Gestión logística en las operativas de transporte internacional de mercancía para el desarrollo del comercio exterior*. Recuperado desde Repositorio ULEAM, disponible: http://www.repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/26000/525/1/T-ULEAM-09-0020.pdf

Guerrero, Y. *et al.* (2015). Propuesta mejoramiento de procesos en la bodega de carga terminal internacional de Bogotá para la Empresa Aerolínea de Carga S.A. *Trabajo de grado* para obtener el título de Ingenieros Industriales. Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá

Gómez B, P. A. (2010). Lean manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. *Gestión y Sociedad, 3*(2), 75-88.

González, A. C. & Sarmiento, Z. (2015). Optimización de las operaciones logísticas de la cadena de exportación de flor: desde poscosecha hasta los aeropuertos de Bogotá, Rionegro, Pereira y Miami. *FloryCultura colombiana,* 14-19.

Heizer, J. & Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones* (7a. Edición). México, México: Pearson Education.

Ledezma, P. (2012). *Boeing Lean Manufacturing.* Recuperado desde: http://www.pdcahome.com/1975/boeing-lean-manufacturing/

Marin, F. & Delgado, J. (2000). Dialnet. Recuperado el 31 de marzo de 2015, de http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=140183: http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/331/07.FERNANDO%20MARIN.pdf

Hernández, M., González, M., Valenzuela, M. & Saavedra, I. (2010). *Propuesta de implementación de Lean Manufacturing en el dpto. de embarques y taller 21 de compañía mexicana de Aviación S.A de C.V. México.*

Mosquera Almesica, F., Cartagena Peña, M., & Sánchez Loaiza, W. (2012). Propuesta de aplicación de herramientas de manufactura esbelta para el mejoramiento del proceso productivo de la empresa TAMPOGRAPHIC Ltda. . Recuperado desde, http://hdl.handle.net/10819/772

Naylor, J., Naim, M. & Berry, D. (1999). Leagility: Integrating the lean an agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 107-118.

Olivera, M., Cabrera, P., Bermudez, W., & Hernández, A. (2011). FEDESARROLLO Centro de Investigación Económica y Social. Recuperado desde: http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/165/1/CDF_No_34_Abril_2011.pdf

Ranson, L. (2012). intervineinc.com. Obtenido de http://blog.apex.aero/inflight-services-2/airways-lean-techniques-maximise-efficiency-catering-programme/.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Serrano Lasa, I. (2007). Análisis de la aplicabilidad de la técnica Value Stream Mapping en el rediseño de sistemas productivos. Recuperado el 19 de 05 de 2015, de http://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/4516: http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4516/tibl.pdf?sequence=1

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

OPTIMIZACIÓN DE LA LONGITUD PROMEDIO DE CORRIDA (AVERAGE LENGTH RUN, ARL) PARA GRÁFICOS DE CONTROL DE PROCESOS EWMA

Néstor Enrique Caicedo Solano[1]
Carlos Daniel Paternina Arboleda[2]

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es ilustrar el desarrollo de una metodología de optimización para resolver problemas prácticos de calidad, determinando el número óptimo de muestras que definen una señal fuera de control, utilizados en gráficos EWMA (*Exponentially Weighted Average Length*), sobre la base de los riesgos estadísticos tipo I y tipo II, a partir de algoritmos genéticos; obteniendo como resultados, el cálculo óptimo de muestras que identifican la señal fuera de control, generando los datos en tiempo real y de manera dinámica, ampliando las tablas actuales existentes en la bibliografía, que solo contienen valores fijos no ajustables a las diferentes condiciones de producción.

En general se encontraron soluciones óptimas dentro del margen del 95% de confianza con respecto a las tablas encontradas en la bibliografía, obtenidas de optimizar mediante el algoritmo genético. El tiempo computacional fue mínimo, por lo cual esta alternativa resulta conveniente en la práctica si se cuenta con procesamiento de mediano a alto nivel. Por estos resultados, se derivan ventajas de su uso en la práctica, en las organizaciones que velan por la calidad y los costos asociados a las actividades de inspección y muestreo (Albright & Roth, 1992; Albright & Roth, 1993; Albright & Roth, 1994).

1. INTRODUCCIÓN

Durante el trascender de los años se ha entendido que para satisfacer a los clientes de cualquier tipo de producto se deben cumplir estándares y especificaciones que de manera casi estática se han diseñado para resolver el problema de esas necesidades expresadas. Teniendo en cuenta las especificaciones de productos y la forma como se pueden monitorear estas características de calidad, los gráficos de control representan una herramienta importante para verificar el cumplimiento de estos estándares. El tema es entonces, evaluar si una organización empresarial está en capacidad de ofrecer su portafolio de productos y servicios desmedidamente para cumplir estos requisitos, es fácil cumplirlos técnicamente pero dependen siempre de la manera en que afecta económicamente estas actividades en las compañías.

En torno a esta situación, en la modernidad del control estadístico de procesos, se han diseñado gráficos de control que utilizan los datos históricos como argumento para un buena estimación del comportamiento de un proceso, de acuerdo al número de muestras que se toman de manera simultánea al flujo de producción, las cuales reflejan la estabilidad del proceso, basados siempre el criterio de normalidad estadística en los datos tomados referentes a muestras de productos o servicios expresados en valores numéricos escalados (He *et al.*, 2002). Además pueden llegar a controlar fallos a través de la estimación de los mínimos cuadrados según los valores resultantes de una operación de producción (Harrou *et al*., 2015).

En este trabajo, el estudio de esta situación en procesos industriales de transformación y manufactura, está enfocado básicamente a los costos generados por el cumplimiento de estas especificaciones y la dispersión o desviación en los valores numéricos reales muestrales de las características de calidad del producto o servicio fabricado o prestado por una empresa, teniendo en cuenta que por una aplicación desarrollada a partir de un

[1] Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia. nestorc@uninorte.edu.co
[2] Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia. cpaterni@uninorte.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

algoritmo genético genera el número de muestras óptimas que permiten tomar decisiones, determinando si el proceso está bajo control generando una señal fuera de control (Carlyle *et al.*, 2000).

2. METODOLOGÍA

Este trabajo tiene como objetivo determinar la Longitud de Corrida Promedio (ARL, por su sigla en inglés *Average Run Length*) con el que se puede detectar una señal fuera de control en un gráfico EWMA que monitorea el comportamiento de una característica de calidad en particular o de una medida estadística tal como el coeficiente de variación (Zhang *et al.*, 2014). Dentro de los aspectos importantes para este cálculo, se debe definir el tamaño óptimo de muestras para inspección, las cuales sirven de base para la construcción de gráficos de este tipo, que tienen la cualidad de detectar cambios pequeños en los comportamientos de procesos. Este problema involucra de manera general las compañías que utilizan la longitud de corrida promedio para gráficos EWMA como la base estadística para tomar las muestras necesarias para detectar las variaciones en los procesos (VanBrackle & Reynolds, 1997).

Estadísticamente la longitud promedio de corrida o ARL es calculado bajo los riesgos estadísticos:

- **α:** Es la probabilidad de falsa alarma, definido como un cambio en el proceso cuando en realidad este no ha ocurrido.
- **β:** Como la probabilidad de no detectar un cambio en el proceso cuando en efecto este ha ocurrido.

Otro de los parámetros que incide en el tamaño de muestras es **δ**, que indica el cambio en la media del proceso que se desea detectar.

Por lo anterior, la ARL representa entonces el número promedio de muestras para que los gráficos de control detecten con cierto nivel de significancia un cambio.

El problema textualmente es sencillo, solo es determinar un tamaño óptimo del ARL, calculado por 1/p, siendo *p*, la probabilidad de que algún punto que represente una muestra o un grupo de muestras, caigan por fuera de los límites de control, es decir que sean no conformes, bajo el supuesto de normalidad.

A continuación se ilustra cómo se abordó el problema:

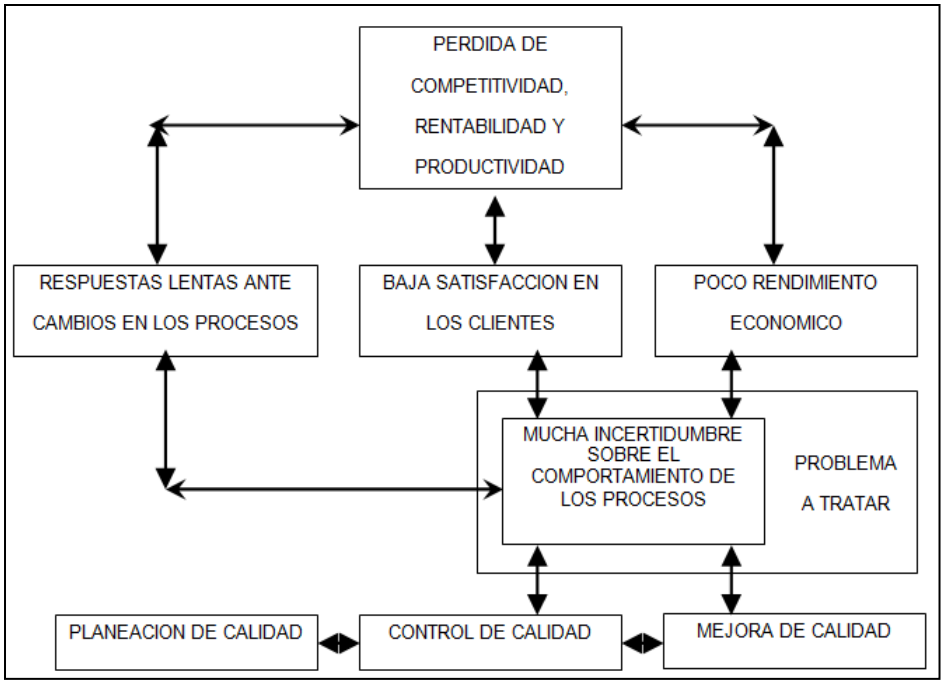


Figura 1. Descripción de la metodología

ISBN: 978-958-5430-49-5

3. HEURÍSTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ARL

3.1. Esquema general

La alternativa diseñada e implementada para resolver el problema de optimización del ARL, es la construcción del algoritmo genético que se escogió como estrategia de solución por las siguientes razones:

Trabajan con una codificación de un conjunto de parámetros, con un amplio espacio de búsqueda, que en el modelo de optimización, este conjunto de parámetros está claramente definido según el comportamiento del ARL (Aparisi & García, 2004), aun cuando es posible considerar que estos parámetros tienden a cero y los valores históricos tienen otras apreciaciones para la estimación, lo cual hace que se suavicen en el tiempo (Lazariu *et al.*, 2015)

- No necesitan conocimientos específicos sobre el problema, es decir, no están sujetos a restricciones, que no existen en el modelo.
- Realiza el trabajo de optimización a partir de un conjunto de puntos, por tanto es una técnica de búsqueda global, a través de las evaluaciones de la función a optimizar (Chatterjee & Laudatto, 1997).
- Utiliza operadores probabilísticos, que evidentemente en el modelo se hace necesario por los parámetros del mismo, en vez de operadores determinísticos, que se utilizan en técnicas tradicionales.
- Genera varias soluciones.
- El problema en este caso, no cumple con condiciones de derivabilidad en la función objetivo.

Resulta imprescindible que los datos provengan de una distribución normal, si esto no es así, se realiza una transformación de Box – Cox.

Dada estas condiciones, el problema se puede esquematizar según el algoritmo genético como sigue:

- ***Paso 1:*** Se genera una población inicial de n individuos con los valores dados para el ancho L y el valor ponderado de memoria λ, considerando así la población de cromosomas (en la aplicación se identifica como: *Pobla Inic*)
- ***Paso 2:*** Para cada par de esta población se calcula la probabilidad de encontrar un punto por fuera de los límites de control, tanto para el valor inicial y el valor cuando los límites se estabilizan (en la aplicación se identifica como: *Prob*).
- ***Paso 3:*** Para los valores arrojados por las probabilidades de encontrar un punto fuera de control en el paso anterior, se calcula el ARLd y el ARL0.
- ***Paso 4:*** Con los resultados del ARLd y el ARL0, se evalúa la función objetivo del modelo incorporando el ARLo.
- ***Paso 5:*** De los individuos de la población inicial se escogen los mejores cromosomas para ser cruzados o combinados en el paso siguiente (en la aplicación se identifica como: Selección).
- ***Paso 6:*** Entre las mejores combinaciones de cromosomas, se realiza cruzamiento (*ej.*, cromosoma ubicado en la posición dos del vector del ancho de los límites contra el cromosoma ubicado en la posición 4 del vector de lambda), la cantidad de cruzamiento lo define la celda *Cant. Cruzamiento en la aplicación.*
- ***Paso 7:*** Se evalúan los nuevos individuos en la función objetivo y se seleccionan los mejores (cantidad expresada en la celda Selección).
- ***Paso 8:*** Se realiza el proceso de mutación generando una cantidad Y de cromosomas tanto de ancho como de lambda (en la aplicación se identifica como: *Cant. Mutación*).

ISBN: 978-958-5430-49-5

- ***Paso 9:*** Se evalúan los cromosomas encontrados en el paso 7, con los generados en el paso 8 para encontrar la mejor respuesta (Cantidad expresada en la celda Selección).
- ***Paso 10:*** Se Vuelve al paso 6 hasta completar el número de repeticiones expresada en la celda *(Iter.)*
- ***Paso 11:*** Se selecciona la combinación de cromosomas que maximiza la función objetivo.
- ***Paso 12:*** Se regresa al paso 1 hasta que se complete el total de las muestras ubicada en la celda *Muestras.*

3.2. Inicialización del sistema

La inicialización del sistema consiste en configurar sus parámetros, que son:

α, *error tipo 1*

β, *error tipo 2*

$$Zi = \lambda \bar{x}i + (1-\lambda)Z_{i-1}, \quad [2]$$

Representa los valores específicos a graficar, con los cuales se determina el comportamiento del proceso.

$$LCS = \bar{\bar{x}} \pm L\sigma_x \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}}, \quad \text{fórmula para los limites de control [3]}$$

λ, peso ponderado para la memoria del gráfico.

L, ancho deseado para los límites, es decir, el número de desviaciones estándar con las cuales se desea calcular la probabilidad de detección de la señal fuera de control.

n, tamaño del subgrupo.

w1, w2, valores de ajuste para la función objetivo.

ARL0, ARL deseado.

δ, Variación, dada por los datos muestrales.

$\bar{\bar{x}}$ Media del proceso, dada por los datos muestrales.

La función de ajuste es:

Max-w1I ARL0 - ARL0 I - w2ARLd; si (ARL0 - ARL0) ≤0 *[4]*

Max-2w1I ARL0 - ARL0 I - w2ARLd; si (ARL0 - ARL0)>0 *[5]*

Donde ARL0 representa el ARL deseado en control, ARL0 representa el ARL en el punto d=0 calculado, ARLd representa el ARL en el punto d para el cual se quiere optimizar el dato. Los parámetros w1 y w2 representan los pesos que se le asignan a las ecuaciones, con esta evaluación de la función podemos seleccionar los mejores pares de solución (r, L) que presentan el ARL0 (que busque la mejor probabilidad de falsa alarma). Si la función genera un valor grande representa entonces las mejores soluciones, resultando de esta manera la función objetivo del algoritmo genético.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Por la configuración del algoritmo, se hace flexible encontrar varias soluciones por la información que se ingresa en la aplicación para encontrar los mejores resultados, por esta razón, los intervalos de confianza pueden confirmar los mejores resultados, definido según el número de respuestas que genere el algoritmo, aplicando para cada uno de los casos los intervalos de confianza aplicables.

4.1. Resultados experimentales: calidad en las soluciones

ISBN: 978-958-5430-49-5

La siguiente tabla muestra los mejores resultados del modelo, donde se compara los resultados obtenidos por el modelo y los valores obtenidos por la tabla estandarizada con valores fijos de búsqueda para los tamaños de ARL.

Tabla 1. Comparación de datos experimentales y tabulados

CAMBIOS EN LA MEDIA	TABLA L= 3,054	RESULTADO EXPERIMENTAL
	LAMBDA= 0,40	
0	500	506
0,25	224	228
0,5	71,2	73
0,75	28,4	30
1	14,3	15

Lo que muestra las pequeñas desviaciones obtenidas por el modelo y sus resultados experimentales comparados con los datos de la tabla estandarizada (Montgomery, 2001).

A continuación por intervalos de confianza, la confiabilidad de los resultados obtenidos para cada caso, con n<40 resultados obtenidos y con n≥40 resultados, dado que el algoritmo genera un número x de resultados, que se pueden obtener introduciendo el número deseado de resultados.

Tabla 2. Comparación de datos experimentales y tabulados en tablas

CAMBIOS EN LA MEDIA	TABLA L= 3,054	RESULTADO EXPERIMENTAL L=3,054	IC 95%
	LAMBDA= 0,40		N<40
0	500	505	505,839 +/- 0,06
0,25	224	227	227,806 +/- 0,08
0,5	71,2	75	75,8595 +/- 0,05

4.2. Tiempo computacional

A continuación se resume los resultados observados de tiempo computacional de forma general por resultados obtenidos:

Tabla 3. Resultados de tiempos computacionales

CONDICIONES GENERALES	TIEMPO (SEGUNDOS)
Peor tiempo registrado	3.25
Mejor tiempo registrado	2.85
Tiempo promedio registrado	3.0
Desviación estándar	0.003
Límite Superior IC (α =95%)	3.04

5. CONCLUSIONES

Acerca de la hipótesis a verificar, en general se encontraron muy buenas soluciones dentro del margen del 95% de confianza, obtenidas de optimizar mediante el algoritmo genético, con respecto a las tablas encontradas en la bibliografía. El tiempo computacional es sorprendentemente menor de un minuto, por lo cual esta alternativa puede resultar muy conveniente en la práctica si se cuenta con procesamiento de mediano a alto nivel. En esto radica su ventaja práctica y en la organización de las soluciones para una provechosa gestión. De esto se deduce también que el objetivo general de desarrollar una alternativa práctica, ágil y satisfactoria se haya cumplido a cabalidad.

ISBN: 978-958-5430-49-5

La solución propuesta es una alternativa que maneja conceptos en general muy sencillos, ya que consta de analogías con fenómenos de la naturaleza frecuentes en la cotidianidad. La complejidad radica más en configurar el sistema apropiadamente y adaptar los conceptos, resultados y aplicaciones al monitoreo de procesos y reducción de muestras para la disminución de costos y maximización de probabilidades de detección de señales fuera de control.

LISTA DE REFERENCIAS

Albright, T. L. & Roth, H. P. (1992): The measurement of quality costs: An alternative paradigm. *Accounting Horizon, 6*(2), 15-27.

Albright, T. L. & Roth, H. P. (1993): Controlling quality on a multidimensional level, *Cost Management, 18*, 29-38.

Albright, T. L. & Roth, H. P. (1994): Managing quality through the quality loss function. *Journal of Cost Management, 7*(4), 20-29.

Aparisi, F. & García-Díaz, J. C. (2004). Optimization of univariate and multivariate exponentially weighted moving-average control charts using genetic algorithm. *Computers and Operations Research, 31*(9), 1434-1437.

Carlyle, W. M., Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2000). Optimization problems and methods in quality control and improvement. *Journal of Quality Technology*, *32*, 1-17.

Chatterjee, S. & Laudatto, M. (1997). Genetic algorithms in statistics: procedures and applications. Communications in statistics. *Simulation and Computation, 26*(4), 1617–1630.

Montgomery, D. C. (2001). *Introduction to statistical quality control.* (7th ed.) New York, USA: John Wiley and Sons.

Harrou, F., Nounou, M., Nounou, H. & Madakyaru, M. (2015). PLS-Based EWMA fault detection strategy of process monitoring. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 36*, 108- 119

He, H., Grigoryan, A. & Sigh, M. (2002). Design of double-and triple-sampling X-bar control charts using genetic algorithms. *International Journal of Production Research, 40*(6), 1387–1404.

Lazariu, T., Okhrin, Y. & Schmid W. (2015). Behavior of EWMA type control charts for small smoothing parameters. *Computational Statistics and Data Analysis, 89*, 115-125.

VanBrackle, L. N. & Reynolds, M. Jr (1997). EWMA and CUSUM control charts in the presence of correlation, *Communications in Statistics, Simulation and Computation, 26,* 979-1008

Zangh, J., Zhonghua, L., Chen, B. & Zhaoyun, W. (2014). A new exponentially weighted moving average control chart for monitoring the coefficient of variation. *Computers & Industrial Engineering, 78*, 205-212.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE PLANEACIÓN AGREGADA DE LAS VENTAS Y OPERACIONES: ESTUDIO DE CASO PARA LA EMPRESA CARTAGENERA DE ICOPORES S.A.

Hernando Garzón Saenz[1]
José Manuel Solana Garzón[2]
Bruno M. Rahmer[3]

RESUMEN

La intención primaria del presente artículo es exponer un caso de estudio en el que se evidencia la aplicación de un análisis comparativo entre estrategias de planeación agregada en la empresa "Cartagenera de Icopores S.A", determinadas a partir de técnicas heurísticas y programación matemática restringida. El plan seleccionado permite anticipar decisiones relativas a la programación de existencias en stock, la determinación del tamaño de fuerza laboral, así como también, al dimensionamiento de las capas de inversión. La conjunción de todos estos factores será un determinantes claves para ajustar la tasa de respuesta de la empresa frente a un entorno mercantil naturalmente variante y especializado, pues suministra directrices útiles para establecer un óptimo equilibrio entre la oferta y la demanda, además de cumplir con ciertas condiciones establecidas a priori: la minimización de los costos totales de la producción y la trazabilidad de cursos de acción concordantes con las políticas corporativas. Se concluye, a partir de los resultados obtenidos, que la alternativa más fiable para resolver el problema de planificación agregada en este marco contextual, corresponde a aquella basada en el método de transporte, dado que permite satisfacer los requerimientos de la demanda sin transgredir las limitantes del sistema productivo y por supuesto, las restricciones establecidas por la alta dirección.

1. INTRODUCCIÓN

La apertura y especialización de los mercados en el actual siglo ha forzado a las empresas a aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los consumidores, agentes racionales, que además de integrar este complejo entorno en auspicios de la maximización de la utilidad, se tornan en rectores de su curso. Los planes estratégicos y otros planes derivados, especifican la mezcla de productos y servicios que debe generar la empresa, e indican también los cambios planeados en la penetración del mercado, en la aproximación al mismo, y otros aspectos fundamentales del negocio (Chapman, 2006).

Sin embargo, al ser estos de naturaleza global y generalizada, no permiten coordinar apropiadamente, planes de acción más detallados que le competen a las distintas áreas funcionales de la empresa. El plan agregado, que se localiza en el nivel táctico del proceso de planeación, enlaza los objetivos estratégicos de la empresa y sus directrices generales, con los procesos internos, procurando, mediante un enfoque integral y sistémico, la determinación del nivel general de la capacidad de los recursos de capital intensivo que apoye en mejor forma la estrategia competitiva de la compañía a largo plazo.

2. METODOLOGÍA

En el marco de este análisis, se procura, en primera instancia hallar la carga del proceso, es decir, el trabajo liberado o planificado en el periodo de análisis (Chapman, 2006b) y consecutivamente efectuar modificaciones sobre el sistema tendientes a suprimir la disimilitud entre la capacidad real o disponible y la capacidad requerida. En la posteridad, debe desarrollarse una estimación de la demanda agregada durante el periodo referencial, y para ello, es imprescindible apelar a distintas técnicas de proyección puramente cuantitativas,

[1] Fundación Universitaria Tecnológico COMFENALCO, Cartagena, Bolívar, Colombia, Hgarzons@tecnocomfenalco.edu.co
[2] Fundación Universitaria Tecnológico COMFENALCO, Cartagena, Bolívar, Colombia, jsolana@tecnologicocomfenalco.edu.co
[3] Fundación Universitaria Tecnológico COMFENALCO, Cartagena, Bolívar, Colombia, brunodejesus.25@gmail.com

ISBN: 978-958-5430-49-5

cuyos valores de entrada serán los datos históricos disponibles. Ulteriormente se procede a realizar un análisis entre planes alternativos de ventas y operaciones-siguiendo una metodología similar a la propuesta por Del Solar *et al.* (2008) confeccionados a partir de la aplicación de reglas heurísticas y métodos de programación matemática restringida. En concordancia con lo expuesto anteriormente, se presentan a continuación, de forma segmentada, los principios metodológicos y operativos concretizados a fin de alcanzar las metas trazadas.

2.1. Análisis de capacidad

En la tabla 1 se registran los resultados obtenidos a partir del análisis de la capacidad instalada de la empresa. Los resultados evidencian que el sistema productivo sólo admite la fabricación de 100 bloques mensuales. Si bien es cierto que las demás estaciones ostentan una capacidad de procesamiento más alta, el ritmo del sistema está condicionado por la estación cuello de botella. En términos de explotación de la capacidad máxima y utilización, las estaciones muestran un desempeño sobresaliente, sin embargo, para las estaciones donde ocurren los procesos de expansión y corte, existe un margen de utilización desaprovechado que no pasa inadvertido.

Tabla 1. Capacidad real instalada

	EXPANSIÓN	**MOLDEADO**	**CORTE**
OUTPUT	105 u	100 u	155 u
EFICIENCIA	90%	92%	97%
UTILIZACION	77%	98%	73%

2.2. Pronóstico de la demanda

Se procura en este apartado, diseñar un modelo de pronóstico consistente y con un superlativo potencial de predicción. Para tal efecto, se compendia, en la tabla 2, información correspondiente a la demanda real de los últimos cinco años. De acuerdo a los lineamientos propuestos por Taha (2009), se presume entonces, la demanda es probabilística y estacionaria, pues el coeficiente de variación de los periodos es superior a 20%, pero no existe una diferencia escrutable entre estos indicadores. Es incontrovertible que el comportamiento de los datos es fluctuante, por lo que se presupone que la serie de tiempo es extraída de un grupo de variables aleatorias que siguen cierta distribución de probabilidad conjunta, a veces indeterminable en la praxis.

Tabla 2. Demanda real para los meses de los últimos cinco años

PERIODO	**DEMANDA MENSUAL**	**DESVIACIÓN ESTÁNDAR**	**COEFICIENTE DE VARIACIÓN**
Año 2011	111	22,2	19,83%
Año 2012	115	33,3	28,78%
Año 2013	126	25,6	20,29%
Año 2014	116	30	25,77%
Año 2015	99	23,3	23,58%

ISBN: 978-958-5430-49-5

2.2.1. Identificación del modelo

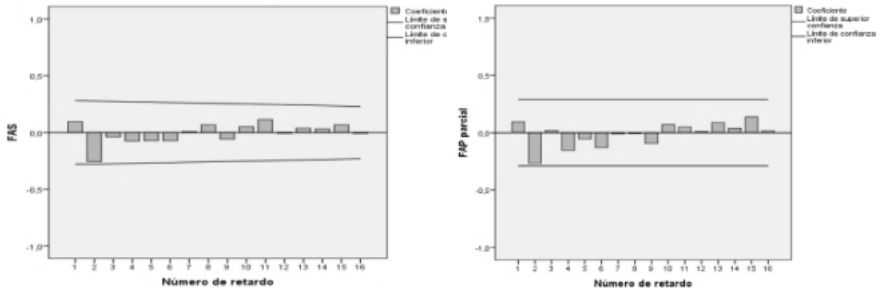


Figura 1. Gráfico de correlaciones y correlaciones parciales

Para alimentar el proceso de identificación del modelo se construyen las gráficas de las funciones de auto-correlación total y parcial, pues a partir de ellas, se posibilita la materialización de un análisis comparativo entre los correlogramas determinados a partir de la serie temporal y los correlogramas de los modelos teóricos expuestos en la literatura a fin de identificar el orden del modelo auto-regresivo (Gujarati & Porter, 2010). Se evidencia que, en ambas representaciones, existe una alternancia entre valores positivos y negativos sin exceder los límites de confianza- que son asintóticos- asumiendo un 95% de confianza. Por consiguiente, a estructura de correlaciones que domina los correlogramas parece ser lo suficientemente adecuada para proseguir a la fase posterior de estimación paramétrica, pues se confirma gráficamente la estacionalidad de la serie.

Tabla 3. Resultados de la prueba de *Dickey-Fuller* aumentada

Valor T	**-6.089401**	**99% Confianza**	**-4.165756**
Valor P	0.0000	95% Confianza	-3.508508
Test de Durbin-Watson	1,91021	90% Confianza	-3.184230

Una prueba que permite detectar formalmente si la distribución conjunta de la serie permanece invariable en la progresión temporal es el test de Dickey-Fuller ampliado. Se confirma pues, que la serie está integrada en orden cero I (0), esto es, que no hay presencia de raíz unitaria en el polinomio auto-regresivo y, por tanto, la serie de tiempo es estacionaria. El resultado se valida en tanto que el estadístico de Durbin-Watson, refleja la ausencia de correlación serial, dado que es inferior a dos (2).

2.2.2. Estimación y diagnóstico del modelo

Una vez identificado el modelo tentativo se emplea el método de máxima verosimilitud como procedimiento de estimación paramétrica. Se asume entonces que el modelo en cuestión es adecuado para pronosticar el comportamiento futuro de la serie temporal y éste es una función lineal de valores rezagados y errores aleatorios, caracterizado por poseer dos términos auto-regresivos, uno de medias móviles para la componente regular y no precisar de diferencias de ningún orden.

Tabla 4. Resumen de la estimación del modelo

PARÁMETRO	ESTIMADO	ERROR ESTÁNDAR	T	VALOR-P
AR (1)	1,105	0,165	6,685	0,000
AR (2)	-0,506	0,172	-2,939	0,006
MA (1)	1,039	0,026	39,334	0,000
Constante		**-1,9712**		
RMSE	**MAPE**	**AIC**	**HQC**	**SBIC**
19,599	**11,480**	**6,102**	**6,209**	**6,334**

ISBN: 978-958-5430-49-5

La tabla arrojada compendia un analisis inferencial sobre los parámetros estimados. Se muestran, además, otros resultados que constituyen un soporte objetivo para argüir que el modelo seleccionado es adecuado para pronosticar el comportamiento futuro de la demanda. Todos estos criterios de información suministrados proveen un soporte adicional relevante, para la selección de un modelo que sea, a lo sumo, parsimonioso y con amplio poder explicativo. Dado que el modelo estimado minimiza el valor de los criterios de información determinados se sigue inconcusamente que el modelo ARIMA(2,0,1) ostenta una capacidad explicativa sobresaliente.

2.2.3. Pronósticos

En la tabla 5 se encuentran los valores pronosticados de las ventas para el periodo referencial con los límites de predicción a un 95% de confianza.

Tabla 5. Pronósticos generados

PRONÓSTICO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
100	39	160
149	88	209
98	38	159
137	77	198
146	85	206
109	48	169

2.3 Diseño del plan agregado

2.3.1 Enfoque de programación entera mixta

En este apartado se procede a diseñar un plan agregado de producción esbozado como un programa entero mixto, que es una extensión del programa lineal, pero difiere de éste último, al estar compuesto por algunas variables restringidas a admitir exclusivamente valores enteros. La función objetivo de orden uno, contiene en su taxonomía: los costos de producción, contratación, despidos, manejo de inventarios y costos de desabastecimiento. Se plantean las restricciones lineales que dependen de las políticas de la empresa, normativa legal, la capacidad instalada y algunas otras limitantes. El plan derivado de la aplicación del modelo de programación entera mixta implica el mantenimiento de una fuerza laboral constante en todos los periodos e implica operar a la máxima capacidad en todos ellos, de manera que algunos periodos se conservarán existencias en *stock* que servirán como *buffer* o amortiguador para periodos posteriores donde existan incrementos notables en la demanda. De esta manera se evita al máximo, externalizar la función de producción.

Tabla 6. Resultados del modelo de programación entera mixta

DEMANDA		**100**	**149**	**98**	**137**	**146**	**109**
Inventario	15		12				
Subcontratos		14		15	36		
Producción total		110	110	110	110	110	110

2.3.2 Enfoque de programación lineal (modelo de transporte)

El método de transporte propuesto por Bowman (1956) propone como origen, los binomios formados por la alternativa de producción y los periodos referenciales, considerados como destinos a los que se asignará esta producción (Boiteux *et. al*, 2015). El plan concibe la satisfacción de la demanda para la totalidad de los periodos recurriendo al uso de horas extras y subcontrataciones, en caso tal de ser necesario. La solución no admite el mantenimiento de unidades en inventario para cubrir la demanda en periodos posteriores y no se realizan modificaciones sobre el tamaño de la fuerza laboral.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 7. Resultados del modelo de transporte

DEMANDA		**100**	**149**	**98**	**137**	**146**	**109**
Tiempo regular	15	85	100	98	100	100	100
Horas Extras			10		10	10	9
Subcontratos			39		27	36	

2.3.3 Aplicación de técnicas heurísticas

Se consideran algunas alternativas o estrategias puras, determinadas a partir de la aplicación de reglas heurísticas, que si bien, no garantizan la obtención de una solución óptima generalmente, dan cabida a la estimación de resultados razonablemente buenos, asumiendo un bajo costo computacional y esbozando una representación muy próxima a la realidad.

Tabla 8. Plan de persecución de demanda

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Requerimiento de producción	100	149	98	137	146	109
Trabajadores requeridos	1	1	1	1	1	1
Trabajadores despedidos	3					

La premisa sobre la cual se sustenta esta estrategia es que las tasas de producción deben ajustarse de acuerdo con los requerimientos del mercado, y por consiguiente, la fuerza laboral también debe modificarse mediante el efectúo de contrataciones y despidos en diferentes periodos. El plan en mención obliga a prescindir de una fracción de trabajadores y mantener un tamaño de fuerza laboral muy reducido en los periodos sucesivos. Esto es un indicio esclarecedor para argüir que tal estrategia es impertinente.

Tabla 9. Plan de trabajo con nivel de producción constante y fluctuación de inventarios

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inventario inicial	15	15	-34	-32	-69	-115
Proyección de la demanda	100	149	98	137	146	109
Inventario final	15	-34	-32	-69	-115	-124

En el marco de la estrategia propuesta, se pretende modificar los niveles de inventario durante periodos donde existen fluctuaciones considerables en la demanda. Se incrementan considerablemente los costos asociados a faltantes, tasa de manejo, obsolescencia, etc. Es incuestionable que para múltiples periodos existen ventas perdidas y se ofrece un servicio más deficiente al consumidor. Esto devela que estos niveles de producción son inadecuados para amortiguar las fluctuaciones de la demanda y satisfacer adecuadamente los requerimientos de los consumidores finales.

Tabla 10. Plan de trabajo con variaciones en la tasa de producción

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inventario Inicial	15	15	0	2	0	0
Producción	100	100	100	100	100	100
Proyección de la Demanda	100	149	98	137	146	109
Unidades de tiempo extra	0	34	0	35	46	9

Se busca con este plan, modificar las tasas de producción mediante la extensión de los ciclos de trabajo para aquellos periodos donde existan picos en la demanda. Por causa de restricciones de carácter legal y políticas gestión del talento humano adoptadas por la empresa, el tiempo extra está acotado, pues una sobreutilización

ISBN: 978-958-5430-49-5

de las instalaciones, deviene en la erogación de sumas cuantiosas de capital, el agotamiento físico y psicológico de los operarios y por supuesto, maximiza la probabilidad de ocurrencia de averías.

Tabla 11. Plan de trabajo con subcontratación

	1	2	3	4	5	6
Requerimiento de Producción	100	149	98	137	146	109
Producción real	100	100	100	100	100	100
Unidades subcontratadas	0	49	0	37	46	9

La implementación de la estrategia de subcontratación supone la adquisición de una capacidad temporaria de producción en periodos donde ocurre una amplificación formidable de la demanda. La estrategia propuesta permite satisfacer solventemente los requerimientos de la demanda, pues el sistema productivo de la empresa contratista es mucho más robusto, sin embargo, esta estrategia propicia una atmósfera apta para el surgimiento de un competidor mucho más sólido.

Tabla 12. Análisis comparativo entre estrategias

COSTO	**PLAN 1**	**PLAN 2**
INVENTARIO EXCESIVO	$ 74.000	
SUBCONTRATACIÒN	$ 650.000	$ 850.000
TIEMPO EXTRA	$ 3.744.000	$ 1.014.000
TIEMPO LINEAL	$28.800.000	$28.800.000
COSTO TOTAL	$ 33.268.000	$ 30.668.000
COSTO	**PLAN 3**	**PLAN 4**
DESPIDO	$6.000.000	
INVENTARIO EXCESIVO		$11.882.000
TIEMPO LINEAL	$8.868.000	$28.800.000
COSTO TOTAL	$14.868.000	$40.682.000
COSTO	**PLAN 5**	**PLAN 6**
INVENTARIO EXCESIVO		$15.234.000
SUBCONTRATACIÒN	$1.390.000	
TIEMPO LINEAL	$7.200.000	$28.800.000
COSTO TOTAL	$ 8.590.000	$ $44.034.000

En la Tabla 12 se conjunta un análisis comparativo entre las estrategias propuestas en función de los costos asociados a cada una de ellas. Los resultados evidencian que el plan seleccionado lejos de garantizar un costo mínimo global, logra satisfacer las condiciones trazadas por la alta dirección.

3. CONCLUSIONES

En este epígrafe se plasman algunas consideraciones concluyentes, resultado de este proceso investigativo. Para el diseño del plan agregado se requirió inicialmente de la ejecución de un análisis diagnóstico de la

ISBN: 978-958-5430-49-5

capacidad de producción del sistema. En esta fase se recabó información relevante sobre el estado actual del proceso productivo, sus limitantes y otras particularidades que le son inherentes. Consecutivamente se desarrolló un modelo econométrico, a través de la aplicación de la metodología Box-Jenkins, a fin de proyectar los valores futuros de la demanda. El posterior análisis comparativo entre estrategias de planeación puras y mixtas, determinadas a partir del uso de técnicas heurísticas y técnicas de programación matemática restringida dio paso a la fijación de una estrategia basada en el método de transporte que, a pesar de no proveer una solución óptima en términos de costos, logra satisfacer algunas limitantes especificadas por la alta dirección.

LISTA DE REFERENCIAS

Boiteux, O., Corominas, A. & Lusa, A. (2007). *Estado del arte sobre planificación agregada de la producción*. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/747/IOC-DT-P-2007-04.pdf?sequence=2

Bowman, E. (1956). Production scheduling by the transportation method of linear programming. *Operations Research, 4*(1), 100-103.

Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción*. (2a ed.). México D.F., México: Pearson Education.

Del Solar, R., Chacón C. I. & Ponce, D. M. (2008). Plan de producción en barracas madereras. Estudio de caso para una pequeña industria. *Maderas, Ciencia y tecnología, 10*(2), 77-92.

Gujarati, D. & Porter, D. (2010). *Econometría*. (5a ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.

Taha, H. (2009). *Investigación de operaciones.* (9a ed.). México D.F., México: Pearson Education.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

ALGORITMOS CONSTRUCTIVOS META-HEURÍSTICOS PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS

César Augusto Marín Moreno[1]
Antonio Escobar Zuluaga[2]
John Willmer Escobar Velásquez[3]
Luis Miguel Escobar Falcón[4]

RESUMEN

En este trabajo se presentan tres (3) algoritmos constructivos híbridos, que combinan métodos heurísticos y exactos para solucionar el problema de programación de vehículos de transporte público de pasajeros con múltiples depósitos MDVSP. El primer constructivo asigna cada uno de los viajes programados a los depósitos teniendo en cuenta el orden cronológico de los viajes y el mejor costo de salida desde el depósito y seguidamente se construyen los itinerarios de manera heurística (*Concurrent Scheduler*). El segundo método construye una secuencia general de atención, la cual combina criterios de orden cronológico y una adaptación de la heurística para solucionar el Problema del Agente Viajero TSP, Vecino más Cercano (*Nearest Neighbor*); para determinar el depósito desde donde se atenderá cada itinerario, se resuelve el modelo matemático del Problema de Asignación Generalizada (*Generalized Assigment Problem*). Finalmente, se propone una metodología que combina la teoría de grafos para determinar itinerarios de mínimo costo con los modelos de Asignación generalizada y Flujo Mínimo en una red. Para validar cada uno de los algoritmos se utilizan 90 instancias de la literatura especializada, las cuales tienen entre dos (2) y cinco (5) depósitos y entre 100 y 500 viajes. Adicionalmente, los algoritmos son aplicados en el caso real del Sistema de Transporte Masivo del Área Metropolitana Centro Occidente de Colombia (AMCO).

1. INTRODUCCIÓN

En la medida en que las ciudades se van transformando gracias al crecimiento económico y al desarrollo humano, estas, se van enfrentando a grandes cambios para poder estar a la vanguardia de una economía globalizada y por ende requieren generar mayor cantidad de ingresos a la población, sin embargo, todo esto, conlleva a que las características de la movilidad de cada una de las ciudades cambien aumentando considerablemente la motorización individual y viajes per cápita, mayor congestión del tráfico, desigualdad y segregación social; problemas que se agravan por las necesidades frente al cambio climático, contaminación del aire y muertes en accidentes de tránsito y consecuentemente se establezcan diferentes modelos de transporte para suplir la movilización de las personas; Colombia, en particular ha venido reestructurando su sistema de transporte público de pasajeros, dese el año 1993 por medio del desarrollo de planes y estrategias para que en el país se utilice el concepto de Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM), con características como: confiabilidad, eficiencia en los tiempos de viaje, mayor frecuencia de los buses, cobertura entre las áreas poblacionales, entre otras.

Como es bien sabido, el sistema que impuso la pauta en transporte masivo en Colombia y en Latinoamérica fue el Sistema Integrado de Trasporte Masivo del Tercer Milenio (Transmilenio), inaugurado en el año 2000 y cuya política está contemplada en el Documento CONPES 2999, "Sistema de Servicio Público Urbano de Transporte Masivo de Pasajeros para la ciudad de Santa Fe de Bogotá". Los resultados de Transmilenio han sido exitosos. Este panorama propició un ambiente en el cual se requería desarrollar un marco regulatorio

[1] Universidad Tecnológica de Pereira, Integra S.A., Pereira, Risaralda, Colombia, cesmarin@utp.edu.co
[2] Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia, aescobar@utp.edu.co
[3] Universidad del Valle, Cali, Valle, Colombia, john.wilmer.escobar@correounivalle.edu.co
[4] Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia, luismescobarf@utp.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

para el transporte público de pasajeros, dando como resultado en el año 2002 el CONPES 3167 en el cual, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) estableció la Política para Mejorar el Servicio de Transporte Público Urbano de Pasajeros y en el año 2003 el CONPES 3260 estableció la política nacional de transporte urbano y masivo.

Sin embargo, la realidad de las empresas operadoras de transporte masivo en Colombia, reflejan que no todos los casos han sido de éxito desde el punto de vista económico y social, pues a pesar de los ingentes esfuerzos del estado por la implementación de SITM, actualmente, este tipo de sistemas está teniendo grandes problemas de sostenibilidad, pues existen en diferentes formas no convencionales y en algunos casos ilegales de movilizarse, reduciendo el uso del transporte público en BRT, lo que está haciendo inviables estos modelos de transporte, es por ello, que dichas empresas tienen como principal desafío hoy en día, mejorar la eficiencia del sistema de transporte público, que no sólo consiste en la operación diaria y cumplir con los viajes planeados, sino que también consiste en la implementación de estrategias que coadyuven a reducir sus costes operativos; entre las estrategias analizadas por la empresa Integra S.A. operadora de transporte masivo del sistema megabús del área metropolitana centro-occidente de Colombia está la incorporación de modelos y técnicas avanzadas que involucren TIC mediante la implementación de elementos de software y hardware que permita una operación óptima y que garantice condiciones de accesibilidad, confort y eficiencia a los usuarios.

En la literatura especializada existen diversas metodologías aplicadas al problema de programación de vehículos (VSP, del inglés *Vehicle Scheduling Problem*) a casos de prueba académicos, sin embargo, dichos métodos deben ser flexibles desde el punto de vista computacional, ya que en los casos reales la cantidad de servicios crece de manera considerable en comparación con las instancias de prueba, esto hace que dichos problemas no puedan ser resueltos de manera exacta. De esta manera, la creación de itinerarios para cada vehículo se convierte en una de las tareas más complejas y requiere gran cantidad de tiempo en la gestión de la operación. Este proceso es un problema de gran interés ya que sin duda alguna el costo que representan los vehículos, ya sea por su adquisición o por uso, es uno de los costes más elevados dentro del presupuesto de la operación de los sistemas de transporte público (Ceder, 2007).

En el trabajo realizado por Wang & Shen (2007), se presenta una nueva versión del problema de programación de vehículos (VSP) denominada VSPRFTC, en la cual consideran buses eléctricos, esto implica tener en cuenta dos nuevas restricciones, las cuales son el tamaño de ruta y el tiempo de recarga de los vehículos, los autores proponen una nueva formulación matemática y usan como método de solución el algoritmo de colonia de hormigas.

Shui, Zuo, Chen & Smit (2015), presentan un nuevo enfoque de VSP basado en un algoritmo de clonación, el cual logra soluciones de buena calidad en tiempos de computación muy cortos y además puede solucionar problemas de programación de vehículos de gran tamaño, para lo cual dos heurísticas son aplicadas, las cuales permiten reajustar los tiempos de salida de cada viaje con el fin de mejorar las soluciones encontradas en procedimientos anteriores. La metodología es validada en la programación de vehículos de la compañía de buses de Nanjing, China encontrando soluciones satisfactorias en menos de un minuto.

Dennis, Richard & Albert (2004), proponen un modelo dinámico para resolver el problema de programación de vehículos. El enfoque abordado por los autores consiste en solucionar un conjunto de problemas de optimización de manera secuencial, tomando en cuenta diferentes escenarios en los tiempos de viaje futuros, la cual consiste en su primera parte, en asignar los viajes a los diferentes depósitos (*clustering*), con lo cual se resuelve el problema estático, en la segunda etapa se resuelve un problema simple de programación de vehículos de manera dinámica. La metodología propuesta fue evaluada en una empresa operadora de buses en Holanda, el conjunto de datos consiste de 1104 viajes y cuatro depósitos.

Gintner, Kliewer & Suhl (2005), consideran el MDVSP con múltiples tipos de vehículos, los autores proponen un método de dos fases que proporciona soluciones muy cercanas a las soluciones óptimas. La formulación matemática del problema es basada en una red espacio-tiempo y se permite que un vehículo

ISBN: 978-958-5430-49-5

regrese a un depósito diferente al de salida, con lo cual buscan minimizar los tiempos de viaje en vacío y los tiempos de ocio. En casos prácticos la cantidad de viajes está por encima de mil, razón por la cual, los autores combinan el modelo de una red espacio-tiempo con un enfoque heurístico, con el fin de resolver problemas de gran tamaño y poder agregar nuevas consideraciones prácticas.

Hadjar, Marcotte & Soumi (2006), proponen un algoritmo de *Branch and Bound* para resolver el MDVSP; el cual combina generación de Columnas (CG), variables fijas y planos de corte. Los autores hacen una revisión de dos formulaciones matemáticas que se basan en esquemas de CG para resolver la relajación de *Lagrange* del problema de programación lineal. El algoritmo es validado en instancias generadas aleatoriamente, instancias de la literatura especializada y un conjunto de datos reales, los cuales pertenecen a la Sociedad de Transporte de Montreal (STM). La STM opera una red que incluye siete depósitos, 665 líneas de buses con 380 puntos de finalización y 17.037 viajes.

Lauren & Ha (2009), proponen un algoritmo de búsqueda local iterativa ILS para solucionar el MDVSP; los autores proponen un nuevo esquema de vecindad denominado movimiento de bloques (*Block Moves*). La metodología utiliza un eficiente algoritmo de subastas para generar la programación de vehículos inicial. Finalmente, el algoritmo integra un mecanismo de perturbación de dos pasos (*Two-Step Perturbation*), el cual permite realizar una búsqueda con diversificación controlada. La metodología fue validada en un conjunto de 30 instancias del MDVSP de la literatura especializada.

Guedes & Borenstein (2015), abordan el problema de programación de vehículos con múltiples depósitos y flota heterogénea (MDVTSP), los autores proponen un marco heurístico que combina una red espacio-tiempo, generación de columnas truncada y reducción del espacio de estados, que permiten resolver instancias del MDVTSP de gran tamaño. El desarrollo de los algoritmos fue medido en instancias generadas aleatoriamente de hasta 3000 viajes, 32 depósitos y ocho (8) tipos de vehículos. Los resultados obtenidos son prometedores y constituyen una alternativa viable para resolver de forma eficiente el MDVTSP.

Hassold & Ceder (2014), desarrollan una metodología basada en un modelo de flujo en redes de costo mínimo, que permite solucionar el problema de programación de vehículos con flota heterogénea (MVT-VSP). El método utiliza un conjunto de tablas de horarios (*timetable*) organizadas en un frente óptimo de Pareto por cada línea de bus y permite estipular el uso de un tipo particular de vehículo para un viaje y a su vez permite hacer sustitución de los vehículos. Los autores aplican la metodología en un caso real en Nueva Zelanda y los resultados muestran una mejora del 15%, en términos del costo de la flota de vehículos.

2. FORMULACIÓN MATÉMATICA

De acuerdo a la formulación Matemática presentada por Fischetti, Lodi y Toth (1999), el MDVSP considera un conjunto de n viajes $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, donde cada viaje T_j $(j = 1, 2, \dots, n)$ posee un tiempo de inicio s_j y un tiempo de finalización e_j, un conjunto de m depósitos $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$, en cada depósito tiene disponibles $r_k \leq n$ vehículos homogéneos y se asume que $m \leq n$.

Considere a τ_{ij} como el tiempo que necesita un vehículo para desplazarse desde el lugar donde finaliza el viaje i hasta el lugar donde empieza el viaje j, de esta manera, un par de viajes consecutivos (T_i, T_j) son factibles si el mismo vehículo puede atender el viaje T_j inmediatamente después de atender el viaje T_i, lo cual implica la condición (1).

$$e_i + \tau_{ij} \leq s_j \qquad (1)$$

Por cada par de viajes factibles se asocia un costo $\gamma_{ij} \geq 0$; para los pares infactibles y para $i = j$, se asocia un costo $\gamma_{ij} = +\infty$. Para cada viaje T_j y cada depósito D_k existe un costo no negativo $\bar{\gamma}_{kj}$ cuando un vehículo del depósito D_k comienza su itinerario con el servicio T_j (igualmente, existe un costo $\bar{\gamma}_{jk}$ cuando un vehículo del

ISBN: 978-958-5430-49-5

depósito D_k finaliza su itinerario con el viaje T_j). De esta manera, el costo total de un itinerario $(T_{i_1}, T_{i_2}, \dots, T_{i_h})$ asociado con un vehículo del depósito D_k es calculado como: $\bar{\gamma}_{ki_1} + \gamma_{i_1 i_2} + \cdots + \gamma_{i_{h-1} i_h} + \bar{\gamma}_{i_h k}$.

Con el fin de describir el modelo matemático del problema, se considera un grafo $G = (V, A)$, donde el conjunto de vértices $V = \{1, \dots, n + m\}$ es dividido en dos subconjuntos, $W = \{1, \dots, m\}$ que contiene un vértice k por cada depósito D_k y $N = \{m + 1, \dots, m + n\}$ al cual se asocia cada vértice $m + j$ a un viaje diferente T_j, para efectos de simplicidad y sin pérdida de generalidad G se considera un grafo completo, donde el conjunto de aristas está dado por $A = \{(i, j): i, j \in V\}$. Así, los costos asociados con cada arco (i, j) se define acorde a la ecuación (2).

$$c_{ij} = \begin{cases} \gamma_{i-m,j-m}; & \forall\, i, j \in N. \\ \bar{\gamma}_{i,j-m}\ ; & \forall\, i \in W, \forall j \in N. \\ \bar{\gamma}_{i,j-m}\ ; & \forall i \in N, \forall j \in W. \\ 0; & \forall\, i, j \in W, i = j. \\ +\infty; & \forall\, i, j \in W, i \neq j. \end{cases} \qquad (2)$$

El MDVSP puede ser formulado como el problema de encontrar *subtours* de costo mínimo mediante el problema de programación lineal entera propuesta por Carpaneto, Dell'Amico, Fischetti & Toth (1989), descrito por las ecuaciones (2-7).

$$\text{MDVSP} = \min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \qquad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = r_j, \qquad j \in V \qquad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = r_i, \qquad i \in V \qquad (5)$$

$$\sum_{(i,j) \in P} x_{ij} \leq |P| - 1, \qquad P \in \Pi \qquad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ entero}, \qquad i, j \in V \qquad (7)$$

3. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

3.1. Concurrent Scheduler Clusterizado (CSC)

En este método, se propone aplicar el método tradicional *Concurrent Scheduler* adicionando una primera etapa de clusterización, es decir, el algoritmo inicia determinando desde qué depósito D_k debe ser atendido cada uno de los viajes *Tj*, para ello, se asigna cada viaje de manera heurística teniendo en cuenta el menor valor $\bar{\gamma}_kj$. El paso siguiente consiste en ordenar los viajes asignados a cada depósito de acuerdo al tiempo de inicio *s_j* de manera creciente. Una vez se tiene el orden cronológico, se crea cada itinerario tiendo en cuenta el orden establecido y la condición descrita en la Ecuación (1). En el momento en que la Ecuación (1) no se cumple, se termina el itinerario y se asigna a un vehículo del depósito D_k, el proceso continúa de acuerdo al orden de los viajes que un quedan y se repite hasta que no queden viajes por asignar. Al final del proceso se realiza una etapa de reasignación de los itinerarios que tiene un solo viaje asignado.

3.2. Secuencia de Atención de Mínimo Costo (SAMC)

ISBN: 978-958-5430-49-5

El método se basa en la construcción de una secuencia general con todos los viajes T_j, es decir solo se tiene en cuenta los nodos del conjunto N; el primer viaje en la secuencia corresponde a al viaje cuyo tiempo de inicio s_j indica que es el primero que se debe atender. Los siguientes viajes en la secuencia se asignan de acuerdo al coto de la transición entre un par (i, j) $\gamma_{i-m,j-m}$ de menor valor y que satisfaga la ecuación (1) y que además desde el punto de vista de la teoría de grafos tenga cómo mínimo grado 2 en el momento de hacer la transición. Cuando no se satisface la ecuación (1) o el requerimiento de mínimo grado, el algoritmo para y marca una sub-secuencia que se toma como un itinerario. La construcción de la secuencia general continua con los siguientes viajes que aún no han sido asignados, tomando como viaje de empalme aquel que posea el mayor grado de salida factible, de acuerdo a la Ecuación (1) y se repite el proceso anterior hasta que todos los viajes tengan un lugar en la secuencia general. Es posible que, al terminar de formar la secuencia general, algunas de las sub-secuencias (itinerarios) tengan un solo viaje, para cual se realiza una primera intensificación sobre dichos itinerarios con fin de tratar de insertarlos otro itinerario, lo que representa el ahorro de un vehículo y hace factible un acuerdo al número máximo de vehículos disponibles en todos los depósitos. En una segunda etapa de intensificación, se busca el emparejamiento de itinerarios, para ello cada uno de los itinerarios es ordenado de manera ascendente de acuerdo al tiempo de inicio s_j del primer viaje de cada itinerario. Para realizar el emparejamiento entre 2 itinerarios, la Ecuación (1) se debe satisfacer tiendo en cuenta el tiempo de finalización e_j del último viaje de la subsecuencia 1 y el tiempo de inicio s_j del primer viaje de la sub-secuencia 2 y el tiempo de desplazamiento entre dichos viajes. Finalmente se realiza la asignación de cada uno de los itinerarios a los depósitos, solucionando el modelo matemático del Problema de Asignación Generalizada GAP, el cual está dado por las ecuaciones (8-11).

$$(\mathrm{GAP}) = \min \sum_{i \in A^*} \sum_{j \in W} c_{ij} x_{ij} \qquad (8)$$

$$\sum_{j \in W} x_{ij} = 1, \qquad \forall\, i \in A^* \qquad (9)$$

$$\sum_{i \in A^*} a_{ij}\, x_{ij} \leq b_j, \qquad \forall\, j \in W \qquad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \qquad \forall\, i \in A^*, \forall\, j \in W \qquad (11)$$

La ecuación función objetivo presentada en (8) representa el costo de asignar un itinerario i, a un deposito j, donde A^* es el conjunto de todos los itinerarios construidos en la primera parte del algoritmo. Así, el costo c_{ij} está dado por la suma de cada uno de los términos de la expresión (12). La ecuación (9) indica que cada servicio debe ser atendido desde un único depósito. La restricción (10) hace referencia a la capacidad que tiene cada depósito en términos de flota, donde a_{ij} es una contante que toma el valor 1 y representa que cada itinerario necesita un vehículo para ser llevado a cabo; b_j representa la capacidad de cada uno de los depósitos. Finalmente, la expresión (11) corresponde al conjunto de variable binaria x_{ij}, que toman el valor de 1 si el itinerario i es atendido desde el depósito j, y toman el valor de cero en caso contrario.

$$c_{ij} = \begin{cases} \bar{\gamma}_{i,j}\ ; & \forall\, i \in W, \forall j \in A^*. \\ \bar{\gamma}_{j,i}\ ; & \forall i \in A^*, \forall j \in W. \\ 0; & \forall\, i, j \in W, i = j. \\ +\infty; & \forall\, i, j \in W, i \neq j. \end{cases} \qquad (12)$$

3.3. División de Secuencia de Atención (DSA)

ISBN: 978-958-5430-49-5

Este algoritmo corresponde a una adaptación de la metodología de división de secuencias propuesta por Prins (2009). El método inicia con una secuencia de viajes, cuyo orden está dado por el tiempo de inicio s_j de cada viaje T_j (j = 1, … , n). La segunda etapa del procedimiento, consiste en determinar de manera exhaustiva, todos los itinerarios factibles de acuerdo al orden establecido en la secuencia anterior, lo cual se determina a partir de la ecuación (1) y para lo cual, se construye un grafo auxiliar que representa todas las posibles conexiones, tal como el que se ilustra en la Figura 1.

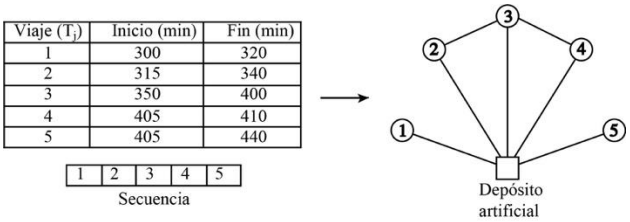


Figura 1. Secuencia y grafo auxiliar

A partir del grafo auxiliar se construye un dígrafo con todos los itinerarios factibles obtenidos. Por ser un problema con múltiples depósitos, cada itinerario se repite en igual cantidad de veces como depósitos existan, La Figura 2 ilustra un conjunto de itinerarios factibles, representados en un dígrafo para modelar VSP como un problema de flujo mínimo: {1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {2,3} {2, 3, 4}, {3, 4}

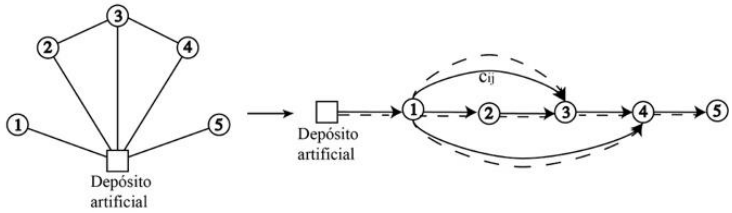


Figura 2. Dígrafo para modelo de flujo mínimo

Los aportes realizados en este constructivo respecto a la metodología presentada por Prins (2009), consiste en la extensión a múltiples depósitos, lo que se refleja en la restricción (18), ya que en la metodología original está planteado para división de secuencias de servicios que se atienden desde un único depósito, además se resalta que, en esta propuesta el problema a resolver es un VSP, diferente a los problemas de ruteamiento de vehículos (VRP) en que fue utilizada la metodología inicialmente, siendo el VSP un problema con mayor dificultad desde el punto de vista del grafo auxiliar resultante, ya que este presenta una cantidad elevada de infactibilidades.

Para modelar el VSP como un problema de flujos mínimos, se parte de un dígrafo $G^* = (V^*, A^*)$, donde V^*representa el conjunto de viajes que deben ser atendidos y el conjunto de aristas A^*, representa todas las combinaciones posibles de itinerarios que resultan de una determina secuencia de viajes, cada itinerario tiene un costo c_{ij}^m. Se define una variable binaria x_{ij}^m, la cual toma el valor de uno si el itinerario $(i, j) \in A^*$ es atendido desde el depósito $m \in W$ y hace parte de la solución final, de lo contrario toma el valor de cero. Adicionalmente se definen los parámetros de las ecuaciones (13) y (14).

$$e_r = \begin{cases} -1; & \text{si } r \in V^* \text{ es nodo inicial del digrafo } G^* \\ 0; & \text{si } r \in V^* \text{ es nodo de transito de } G^* \\ +1; & \text{si } r \in V^* \text{ es nodo final del digrafo } G^* \end{cases} \quad (13)$$

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$a_{ij}^{r} = \begin{cases} -1; & \text{si } (i,j) \in A^* \text{ sale del nodo } r \in V^* \\ 0; & \text{si } (i,j) \in A^* \text{ no tiene relación con } r \in V^* \\ -1; & \text{si } (i,j) \in A^* \text{llega al nodo } r \in V^* \end{cases} \quad (14)$$

El modelo matemático que representa el VSP como un modelo de flujos de mínimo costo está dado por las ecuaciones (15-19).

$$Z = min \sum_{m \in W} \sum_{(ij) \in A^*} c_{ij}^{m} x_{ij}^{m} \quad (15)$$

$$\sum_{m \in W} \sum_{(ij) \in A^*} a_{ij}^{r} x_{ij}^{m} = e_r, \quad \forall\, r \in V^* \quad (16)$$

$$\sum_{(ij) \in A^*} x_{ij}^{m} \leq b_m, \quad \forall\, m \in W \quad (17)$$

$$\sum_{m \in W} x_{ij}^{m} \leq 1, \quad \forall\, (i,j) \in A^* \quad (18)$$

$$x_{ij}^{m} \in \{0,1\} \quad \forall\, (i,j) \in A^*, \forall\, m \in W \quad (19)$$

El conjunto de ecuaciones (16) asegura la conservación de flujo tanto en los nodos con el dígrafo. Las restricciones (17) controlan el número de itinerarios atendidos desde cada depósito, lo cual constituye la capacidad de cada depósito. El conjunto de inecuaciones (18) asegura que cada itinerario debe ser atendido desde un único depósito. Finalmente, el conjunto de restricciones (19) aseguran la integralidad de las variables de decisión.

4. RESULTADOS

Los métodos aquí propuestos se implementaron con el fin de encontrar soluciones de buena calidad en tiempos de computo mínimo, pensando en la programación real de la flota de la empresa INTEGRA S.A., operadora del Sistema de Transporte Masivo del AMCO, la cual debe atender un promedio de 3000 viajes diarios. Estos métodos servirán de insumo para el desarrollo de un algoritmo poblacional que sea capaz de encontrar soluciones para el MDVSP, aprovechando las múltiples fortalezas que brindan cada uno de los algoritmos constructivos implementados.

En este trabajo se valida cada uno de los algoritmos constructivo mediante pruebas sobre las instancias de la literatura especializada y los resultados se comparan con los reportados en el trabajo realizado por Fischetti, Lodi & Toth (1999). Los datos de prueba corresponden a 120 instancias cuyas características son: dos (2) depósitos y entre 100 y 500 viajes, tres (3) depósitos y entre 100 y 400 viajes y las de cinco (5) depósitos varían entre 100 y 300 viajes. Los algoritmos fueron implementados en C++®, bajo sistema operativo *Linux* distribución *Ubuntu 14.04 LTS de 64 bits* junto con el *Solver CPLEX® Versión 12.06 de 64 bits*, un procesador *Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40GHz × 8 y memoria RAM de ocho (8) gigabytes*.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las instancias de dos (2) depósitos, las primeras cuatro columnas corresponden a los valores de referencia en cuanto a la instancia, solución, número de vehículos utilizados (V) y el tiempo computacional (t), las últimas seis columnas corresponden a los resultados obtenidos por los constructivos propuestos CSC, SAMC y DSA.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 1. Resultados instancias con dos depósitos

Instancia	Fischetti *et al*			CSC			SAMC			DSA		
	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]
2-100-1	279463	25	0,35	319649	28	0	319288	28	0,015	319288	28	0,108
2-100-2	301808	27	0,38	330841	29	0	334693	29	0,270	334693	29	0,111
2-100-3	341528	31	0,45	373141	33	0	364312	32	0,103	364312	32	0,096
2-100-4	289864	26	0,67	328709	29	0	320422	28	0,095	320422	28	0,141
2-100-5	328815	30	1,45	370867	33	0	380735	34	0,092	380735	34	0,097
2-100-6	360466	33	0,28	391506	35	0	383712	34	0,102	383712	34	0,143
2-100-7	290865	26	0,42	322480	28	0	308985	27	0,067	308985	27	0,154
2-100-8	337923	31	0,5	368594	33	0	359374	32	0,102	359374	32	0,133
2-100-9	270452	24	0,9	342358	30	0	300175	26	0,068	300175	26	0,189
2-100-10	291400	26	0,63	390584	35	0	320275	28	0,067	320275	28	0,096
Promedio	**309258**	**27**	**0,60**	**353873**	**31**	**0**	**339197**	**30**	**0,070**	**339197,1**	**29**	**0,127**
2-200-01	545188	49	5,23	618159	54	0	660802	58	0,304	660802	58	0,480
2-200-02	617417	56	13,58	660855	58	0	675250	59	0,2914	675250	59	0,479
2-200-03	666698	61	26,73	702664	62	0	739245	66	0,336	739237	66	0,496
2-200-04	599404	54	4,17	694244	61	0	654025	57	0,266	654025	57	0,513
2-200-05	626991	56	27,73	701208	61	0	704203	61	0,300	704203	61	0,484
2-200-06	592535	54	5,15	676355	60	0	624568	55	0,273	624568	55	0,486
2-200-07	611231	55	77,43	672587	59	0	699273	61	0,317	699273	61	0,506
2-200-08	586297	53	61,02	670180	59	0	648139	57	0,261	648139	57	0,501
2-200-09	596192	54	9,1	627349	55	0	697392	61	0,315	697392	61	0,500
2-200-10	618328	56	2,88	709511	63	0	679830	60	0,312	679830	60	0,508
Promedio	**606028**	**55**	**23,30**	**673311**	**59**	**0**	**678273**	**59**	**0,300**	**678271,9**	**59**	**0,495**
2-300-01	907049	83	349,38	1045166	93	0	979298	87	0,581	989962	88	1,253
2-300-02	789658	71	46,30	900715	79	0	906356	79	0,453	916456	80	1,172
2-300-03	813357	74	61,12	913846	81	0	966706	85	0,571	966706	85	1,274
2-300-04	777526	70	51,37	878221	77	0	923910	81	0,482	923910	81	1,222
2-300-05	840724	76	19,25	972836	86	0	942604	82	0,513	942604	82	1,206
2-300-06	828200	75	66,55	916390	80	0	957692	85	0,510	957692	85	1,227
2-300-07	817914	74	30,67	867390	76	0	882812	78	0,457	882812	78	1,196
2-300-08	858820	78	33,02	960522	85	0	967834	85	0,532	967834	85	1,191
2-300-09	902568	82	77,20	936435	82	0	1053320	92	0,604	1053321	92	1,334
2-300-10	797371	72	106,72	890118	78	0	897633	78	0,454	897633	78	1,183
Promedio	**833319**	**75**	**84,00**	**928164**	**82**	**0**	**947816**	**83**	**0,520**	**949893**	**83**	**1,226**
2-400-01	1084141	98	431,2	1174619	103	0	1394780	123	1,100	1394781	123	2,346
2-400-02	1028509	93	171,4	1201027	106	0	1204640	105	0,863	1204638	105	2,266
2-400-03	1152954	105	137,8	1268889	112	0	1265370	110	0,910	1265371	110	2,275
2-400-04	1112589	101	412,7	1183893	104	0	1288680	113	0,967	1288678	113	2,365
2-400-05	1141217	104	670,7	1257922	111	0	1213000	106	0,917	1223924	107	2,280
2-400-06	1100988	100	61,57	1261390	112	0	1217380	108	0,822	1217381	108	2,329
2-400-07	1237205	113	398,3	1300285	115	0	1301510	114	1,075	1301508	114	2,483
2-400-08	1111077	101	158,9	1207654	106	0	1273730	113	0,948	1284614	114	2,407
2-400-09	1104559	100	410,7	1216153	107	0	1203330	105	0,828	1203328	105	2,396
2-400-10	1086040	99	125,8	1192299	105	0	1213630	107	0,881	1213627	107	2,352
Promedio	**1115927,90**	**101**	**297,9**	**1226413**	**108**	**0**	**1257605**	**110**	**0,93**	**1259785**	**110**	**2,350**
2-500-01	1296920	118	1222,1	1455685	128	0	1785500	159	1,840	1785500	159	4,032
2-500-02	1490681	136	2667,5	1628068	144	0	1666580	148	1,645	1677092	149	3,864
2-500-03	1328290	121	854,8	1456659	129	0	1545960	136	1,481	1545959	136	3,686
2-500-04	1373993	125	1351,4	1499704	132	0	1613560	141	1,585	1624500	142	3,733
2-500-05	1315829	119	807,7	1417931	124	0	1743130	154	1,831	1743128	154	3,771
2-500-06	1358140	124	1155,5	1480216	131	0	1663780	148	1,838	1663780	148	3,619
2-500-07	1436202	131	1025,7	1647110	147	0	1559000	139	1,568	1559002	139	3,489
2-500-08	1279768	116	356,9	1451866	128	0	1437040	127	1,295	1437036	127	3,446
2-500-09	1462176	134	588,9	1564237	139	0	1865820	166	2,068	1877004	167	3,862
2-500-10	1390435	127	1576,8	1506591	133	0	1481030	131	1,365	1481032	131	3,473
Promedio	**1373243**	**125**	**1160,7**	**1510807**	**133**	**0**	**1636140**	**145**	**1,65**	**1639403,3**	**145**	**3,698**

Las Tablas 2 y 3 corresponden a los resultados obtenidos con las instancias de tres y cinco depósitos respectivamente.

Tabla 2. Resultados instancias con tres depósitos

Instancia	Fischetti *et. al*			CSC			SAMC			DSA		
	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]

ISBN: 978-958-5430-49-5

Instancia	Fischetti *et. al*			CSC			SAMC			DSA		
3-100-01	307705	28	9,22	351806	31	0	369770	33	0,016	369770	33	0,140
3-100-02	300505	27	1,05	363854	32	0	332911	29	0,036	332390	29	0,156
3-100-03	316867	29	2,22	453416	41	0	326361	29	0,030	325417	29	0,227
3-100-04	336026	31	2,37	401782	36	0	353034	32	0,014	353034	32	0,139
3-100-05	278896	25	1,25	373345	33	0	316188	28	0,013	315848	28	0,146
3-100-06	368925	34	2,35	457438	41	0	399720	36	0,014	399004	36	0,189
3-100-07	287190	26	2,78	379028	34	0	317545	28	0,014	317251	28	0,147
3-100-08	338436	31	3,55	438800	40	0	381328	34	0,018	381328	34	0,164
3-100-09	275943	25	1,13	337510	30	0	315845	28	0,016	315470	28	0,158
3-100-10	285930	26	2,03	359451	32	0	305667	27	0,013	305667	27	0,164
Promedio	**309642**	**28**	**2,80**	**391643**	**35**	**0**	**341837**	**30**	**0,018**	**341517,9**	**30**	**0,163**
3-200-01	551657	50	151,05	635341	56	0	610763	54	0,129	610613	54	0,672
3-200-02	543805	50	124,93	725958	64	0	605991	54	0,122	603220	54	0,645
3-200-03	615675	57	7,18	754187	68	0	670359	60	0,218	669550	60	0,655
3-200-04	557339	51	112,22	669271	60	0	619914	55	0,148	619382	55	0,639
3-200-05	626364	57	55,12	801852	71	0	754295	67	0,276	753969	67	0,713
3-200-06	558414	51	6,65	619840	55	0	646211	58	0,246	645778	58	0,644
3-200-07	595605	55	33,48	722203	65	0	695352	62	0,191	693385	62	0,659
3-200-08	562311	51	15,22	656190	58	0	709807	63	0,188	709764	63	0,672
3-200-09	671037	62	196,08	726214	65	0	713616	63	0,301	713614	63	0,704
3-200-10	565053	52	25,5	638540	57	0	629342	56	0,263	627032	56	0,638
Promedio	**584726**	**54**	**72,74**	**694960**	**62**	**0**	**665565**	**59**	**0,208**	**341517,9**	**59**	**0,163**
3-300-01	834240	77	87,43	1078853	97	0	913867	82	0,410	922669	83	1,644
3-300-02	830089	76	706,75	968949	86	0	914023	81	0,418	924605	82	1,613
3-300-03	799803	74	286,57	985586	89	0	940813	85	0,430	938206	85	1,595
3-300-04	850929	78	166,17	1167801	104	0	1005270	90	0,537	1001778	90	1,709
3-300-05	837460	77	576,2	986954	88	0	1078580	97	0,594	1089265	98	1,784
3-300-06	795110	73	142,05	1005917	90	0	906530	81	0,409	906530	81	1,692
3-300-07	774873	70	138,1	945060	83	0	891506	78	0,418	891183	78	1,686
3-300-08	916484	85	261,42	1128445	101	0	1030770	93	0,601	1037943	94	1,637
3-300-09	830364	77	560,77	1078629	96	0	938469	85	0,489	956599	87	1,596
3-300-10	850515	78	472,95	947914	84	0	938061	83	0,452	938061	83	1,623
Promedio	**831987**	**76**	**339,84**	**1029411**	**92**	**0**	**955789**	**85**	**0,476**	**960683,9**	**86**	**1,658**
3-400-01	1141067	106	3188,92	1248434	112	0	1209380	110	0,895	1219824	111	2,863
3-400-02	1059717	97	1617,23	1227357	109	0	1225600	109	0,855	1235660	110	3,258
3-400-03	1124169	103	2205,48	1302319	116	0	1439350	127	1,269	1438250	128	3,254
3-400-04	1091238	101	5142,95	1239273	111	0	1200600	108	0,8644	1199581	108	2,909
3-400-05	1159027	107	429,15	1261988	113	0	1254050	112	0,923	1263611	113	2,828
3-400-06	1042121	96	4476,55	1343667	120	0	1121320	100	0,744	1119620	100	2,827
3-400-07	1104156	101	4144,12	1283541	114	0	1301830	116	0,950	1301723	116	2,882
3-400-08	1050490	97	5480,95	1360377	122	0	1155560	104	0,857	1152848	104	2,915
3-400-09	1007810	93	775,32	1206448	108	0	1074970	96	0,700	1094872	98	2,918
3-400-10	1063571	98	4315,67	1218363	109	0	1283230	115	0,958	1282035	115	3,049
Promedio	**1084337**	**100**	**3177,63**	**1269177**	**113**	**0**	**1226589**	**110**	**0,902**	**1230802,4**	**110**	**2,970**

Tabla 3. Resultados instancias con cinco depósitos

Instancia	Fischetti *et. al*			CSC			SAMC			DSA		
	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]
5-100-01	365591	34	6,87	561255	51	0	383427	34	0,019	382959	34	0,225
5-100-02	295568	27	2,95	412302	37	0	338048	30	0,015	347823	31	0,233
5-100-03	314117	29	58,02	502385	46	0	336861	30	0,014	336823	30	0,241
5-100-04	340785	31	25,18	479689	43	0	353054	31	0,015	352665	31	0,247
5-100-05	306369	28	1,25	500939	45	0	337430	30	0,482	337430	30	0,238
5-100-06	333833	31	11,32	397227	36	0	348203	31	0,080	359029	32	0,211
5-100-07	296816	27	30,07	441027	39	0	319359	28	0,016	319292	28	0,237
5-100-08	355657	33	34,18	594980	54	0	386480	35	0,119	385655	35	0,221
5-100-09	306721	28	4,58	399974	36	0	339674	30	0,112	339670	30	0,261
5-100-10	291832	27	50,48	409052	37	0	322283	29	0,108	322074	29	0,222
Promedio	**320728,90**	**29,50**	**22,49**	**469883,00**	**42,40**	**0**	**346481,90**	**30,80**	**0,098**	**348342**	**31**	**0,234**
5-200-01	619511	58	603,5	1034677	94	0	686484	62	0,277	685622	62	0,952
5-200-02	601049	56	123,45	697076	63	0	698010	63	0,198	697028	63	1,015
5-200-03	623685	58	247,73	1018154	91	0	686854	61	0,229	684748	61	0,989
5-200-04	622408	58	883,22	828638	75	0	671081	60	0,161	669809	60	0,958
5-200-05	597086	55	221,12	774487	70	0	626297	56	0,142	626284	56	0,987
5-200-06	479571	44	160,57	661053	59	0	660133	59	0,257	658708	59	1,012
5-200-07	553880	51	128,22	780993	70	0	588656	52	0,150	588656	52	1,011

ISBN: 978-958-5430-49-5

Instancia	Fischetti *et. al*			CSC			SAMC			DSA		
	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]	Solución	V	t [s]
5-200-08	595291	55	594,38	1031595	91	0	632350	56	0,135	641329	57	0,994
5-200-09	588537	54	220,32	938616	83	0	707193	63	0,204	706420	63	1,016
5-200-10	593183	54	231,77	729178	65	0	692785	61	0,198	691624	61	1,023
Promedio	**587420,10**	**54,30**	**341,43**	**849446,70**	**76,10**	**0**	**664984,30**	**59**	**0,195**	**665022,8**	**59**	**0,996**
5-300-01	784685	72	2006,65	1289877	114	0	907839	81	0,447	905992	81	2,340
5-300-02	856341	80	1899,32	1210309	110	0	927648	83	0,476	925077	83	2,318
5-300-03	900205	84	3040,72	1606539	144	0	991831	88	0,513	985524	88	2,249
5-300-04	815586	76	847,63	1251207	114	0	925640	84	0,408	935134	85	2,212
5-300-05	868503	81	4506,17	1133577	102	0	933346	84	0,438	930690	84	2,256
5-300-06	787059	73	4863,87	988419	89	0	913226	82	0,408	922316	83	2,463
5-300-07	811301	75	2799,87	1124489	101	0	913880	81	0,417	912500	81	2,264
5-300-08	780788	72	5796,38	1030059	93	0	844289	75	0,352	854214	76	2,159
5-300-09	850934	79	3148,93	1143755	103	0	1,06E+06	95	0,573	1067517	96	2,271
5-300-10	819068	76	2395,4	1019353	92	0	929966	83	0,441	929414	83	2,247
Promedio	**827447**	**77**	**3130,49**	**1179758**	**106**	**0**	**934590**	**84**	**0,447**	**936837,8**	**84**	**2,278**

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan tres (3) algoritmos constructivos para solucionar el problema de Programación de Vehículos de Transporte Público de Pasajeros, conocido en la literatura especializada como MDVSP. Si bien el problema ha sido ampliamente abordado desde diferentes métodos de solución, este sigue siendo un problema de tipo NP-duro, lo que significa que no existe un algoritmo exacto que pueda solucionarlo en tiempos computacionales apropiados para la programación diaria de las empresas de transporte público, razón por la cual, desde el punto de vista práctico, es necesario contar con soluciones alternativas, basadas en métodos heurísticos o meta-heurísticos con los cuales se puedan obtener soluciones de buena calidad de manera eficiente. Los resultados obtenidos en los casos de prueba utilizados, reflejan que el primer constructivo (CSC) tiene un comportamiento prometedor en las instancias con dos depósitos, mientras que el constructivo SAMC y DSA presentan mejor desarrollo en casos de prueba de mayor tamaño (cinco depósitos y 500 viajes). Los algoritmos se muestran prometedores para ser aplicados como soluciones iniciales en un algoritmo población, además, los tiempos de ejecución reflejan gran desempeño para ser analizados en el caso real de la empresa INTEGRA S.A.

LISTA DE REFERENCIAS

Ceder, A. (2007). *Public Transit Planning and Operation: Theory, modelling and practice* (Vol. 1). Elsevier.

Wang, H. & Shen, J. (2007). Heuristic approaches for solving transit vehicle scheduling problem with route and fueling time constraints. *Applied Mathematics and Computation, 190*, 1237-1249.

Shui, X., Zuo, X., Chen, C. & Smit, A. E. (2015). A clonal selection algorithm for urban bus vehicle scheduling. *Applied Soft Computing, 36*, 36-44.

D. H., R. F., & A. W. (2004). A Robust Solution Approach to the Dynamic Vehicle Scheduling Problem. *Transportation Science, 38*, 447-458.

Gintner, V., Kliewer, N. & Suhl, L. (2005). Solving large multiple-depot mutiple-vehicle-type bus scheduling problems in practice. *OR Spectrum, 27*, 507-523.

Hadjar, A., Marcotte, O. & Soumi, F. (2006). A Branch-and-Cut Algorithm for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem. *Operations Research, 54*(1), 130-149.

Lauren, B., & Ha, J. K. (2009). Iterated local search for the multiple depot vehicle scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering, 57*, 277-286.

Guedes, P. C., & Borenstein, D. (2015). Column generation based heuristic framework for the multiple-depot vehicle type scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering, 90*, 361-370.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Hassold, S. & Ceder, A. (2014). Public transport vehicle scheduling featuring multiple vehicle types. *Transportation Research Part B, 67*, 129-143.

Carpaneto, G., Dell'Amico, M., Fischetti, M. & Toth, P. (1989). A Branch and Bound Algorithm for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem. *Networks, 19*, 531-548.

Fischetti, M., Lodi, A., & Toth, P. (1999). *A branch-and-cut algorithm for the multi depot vehiclescheduling problem.* Technical report, Universidad de Padova & Universidad de Bologna.

Prins, C. (2009). Two memetic algorithms for heterogeneous fleet vehicle routing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 22*, 916-928.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

MODELO CONCEPTUAL PARA LA PLANIFICACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRAL QHSE3+ CONFORMES CON LAS NORMAS ISO 9001, 45001, 14001 Y 50001

Pedro Pablo Poveda-Orjuela[1]
J. Carlos García-Díaz[2]
Germán Cañón-Zabala[3]

RESUMEN

El elevado porcentaje de fracasos por baja sostenibilidad en los negocios y proyectos de emprendimiento, y los bajos niveles de éxito, impacto y trascendencia en los programas de certificación de los sistemas de gestión, se han traducido década tras década en los cierres de las Pymes, al igual que en cifras relativamente bajas en cuanto a la certificación de los sistemas de gestión de las empresas. La alta vulnerabilidad de las Pymes pone en evidencia la necesidad de diseñar modelos que con un enfoque básico funcional e integral de riesgos y calidad, permitan a sus directivos y trabajadores, conocer, apropiar y aplicar las buenas prácticas en los ciclos de planificación, operación, control y mejora de sus productos, procesos y negocios, para contribuir en la rentabilidad y el éxito sostenible de los negocios. Los autores presentan las características generales del modelo conceptual para la planificación e implementación de sistemas de gestión integral, y de los instrumentos y herramientas asociadas, que se han configurado a partir de la conjugación de las buenas prácticas relacionadas con:

i) Los ciclos de gestión de riesgos estratégicos y operacionales,

ii) La efectividad en el manejo de los procesos directivos, de la cadena de valor y de apoyo.

iii) El éxito sostenible del negocio Pymes, entendido desde la eco-eficiencia, la competitividad y la rentabilidad.

Las buenas prácticas se direccionan desde el cuerpo del conocimiento contenido en la familia de normas ISO 31000:2009. "*Risk Management. Principles and Guidelines*", al igual que en los referenciales para la gestión enfocada en:

- Calidad Q - ISO 9001:2015),
- Salud y seguridad HS - ISO DIS 45000:2016,
- Medio ambiental E - ISO14001:2015.
- Eficiencia energética E2 - ISO 50001:201.
- Otras componentes de riesgo, ligadas a la conformación del acrónimo QHSE3+.

El modelo y el enfoque básico de las herramientas ha sido objeto de realimentación y de una validación preliminar.

Los resultados obtenidos permiten:

i) Ratificar la utilidad e importancia de poner a disposición de los emprendedores un modelo con instrumentos básicos para la planificación y la gestión integral de riesgos de afectación de la calidad, la salud y la seguridad, el medio ambiente, los recursos y el desempeño energético, al igual que otras componentes particulares de riesgos aplicables al tema particular de cada negocio y su éxito sostenible.

[1] ASTEQ Technology, Barranquilla, Atlántico, Colombia, pppoveda@gmail.com; pedpoor@doctor.upv.es
[2] Centre for Quality and Change Management, Universitat Politècnica de València juagardi@eio.upv.es
[3] QUARA Technology, Colombia, gcanonz@quaragroup.com

ISBN: 978-958-5430-49-5

ii) Poner a disposición de los usuarios y emprendedores en general, en el portal de los autores en la web, "gestión para el éxito sostenible": www.gees.com.co, una serie de libros, publicaciones y herramientas al servicio de los procesos de implementación de sistemas de gestión

iii) Demostrar con valoraciones en campo, que mediante la aplicación del modelo y sus instrumentos, es posible traducir el éxito sostenible, en la disminución de la vulnerabilidad estratégica global y de cada proceso, con magnitudes entre el 15% y el 23%, que pueden llegar a representar cifras mayores de reducción de costos, en la medida en que se apropien, institucionalicen y apliquen de manera sistemática los métodos y sus principios asociados.

1. INTRODUCCIÓN

Las estadísticas de las Cámaras o Juntas de Comercio del mundo, como entidades no gubernamentales que conforman redes de emprendedores, son dramáticas al observar la quiebra y liquidación de los negocios, las PYMES, que representan más del 97% del total de las empresas del mundo, se declaran en bancarrota en más del 80% de los casos antes de haber cumplido sus primeros cinco años de creación (Capelleras & Kantis, 2009). Esta circunstancia obedece en gran medida a varios tipos de causas, que aunque tienen diferentes tipos de comportamiento según los sectores de la economía, la ubicación y la procedencia de las empresas, al igual que las características propias de las competencias de los emprendedores y sus colaboradores, y de las condiciones temporales del mercado y la geopolítica, tienen un patrón en el que se destacan la siguiente problemática y causas asociadas (Poveda, García & Hernandis, 2016).

- La ausencia de instrumentos, mecanismos y herramientas para la aplicación de Buenas Prácticas Empresariales que permitan dar respuesta al contexto y las circunstancias cambiantes que deben afrontar las Pymes en términos de competitividad.
- Las limitaciones en cuanto a las competencias y los procesos de formación de los emprendedores.
- El nivel mínimo de masificación de las Buenas Prácticas para la Gestión Empresarial Integral, en los sectores vulnerables de las Pymes, asociado a la inexistencia de Herramientas e Instrumentos a la medida de las Pymes, que masifiquen la tecnología asociada a estas buenas prácticas, con énfasis en Gestión de Riesgos, Planificación, Gestión de Proyectos, Sistemas de Gestión y Mejora Continua.
- Inexistencia de Redes Solidarias para la incubación de empresas y el desarrollo estratégico regional focalizado en los emprendedores de PYMES de los sectores vulnerables.
- Bajo nivel de integración del estado, la academia, los gremios, las empresas y los emprendedores de los sectores vulnerables.

2. PROBLEMÁTICA Y OBJETIVO

La patología descrita en los anteriores párrafos, unida a los diferentes obstáculos que deben abordar los emprendedores en cuanto a los aspectos societarios y administrativos, los requisitos legales, el costo del dinero, las restricciones financieras y de acceso a los recursos hídricos y energéticos, la devaluación y las crisis de carácter social, geopolítico macroeconómico, y ambiental, ponen de manifiesto la relevancia del objetivo de la investigación de cuyos productos se ocupa este documento, y que aportan en su solución: Contribuir en la Gestión Empresarial de las PYME, a partir de la configuración de un modelo para planificar e implementar, sus Sistemas de Gestión Integral QHSE3+, con perspectiva de Rendimiento Energético.

Para este efecto la investigación se soporta en las Buenas Prácticas, que se fundamentan en Herramientas para la Gestión Integral de Riesgos, la Gestión de Procesos, y en el cumplimiento y la aplicación de las Normas Internacionales ISO 9001, 14001, 45001, 50001 y 31000, teniendo en cuenta los siguientes objetivos específicos.

ISBN: 978-958-5430-49-5

i) Alcanzar una perspectiva del estado del arte en el campo de la Gestión del Riesgo, y de su inclusión en los Sistemas de Gestión Integral con Perspectiva de Rendimiento Energético en PYMES.

ii) Configurar un Modelo para la Gestión Integral de Riesgos a la medida de los Sistemas de Gestión y ponerlo a disposición del público con herramientas de soporte para el diagnóstico y la implementación.

iii) Configurar el modelo del SIG QHSE3+ y las herramientas para propiciar su planificación, implementación, operación y mejora en las PYME, y ponerlas a disposición del público en general.

3. ETAPAS PREVISTAS EN LA INVESTIGACIÓN, METODOLOGÍA Y BASE CONCEPTUAL

El trabajo se focaliza en la configuración y la aplicación preliminar del Modelo General, y de las herramientas para el Diagnóstico, la Planificación y la Implementación / Operación de Sistemas Integrales de Gestión QHSE3+, apoyados en el Modelo de Riesgos y del Sistema Integral de Gestión, durante fases sucesivas que han sido configuradas por los autores desde la gestión de planificación de la Tesis Doctoral que la genera, e incluyen:

a. Planificación General de la Investigación y Estudio del Estado del Arte,

b. Configuración de un Modelo Integral de Gestión de Riesgos aplicable en negocios PYME, que considere elementos ISO 9k, 14k, 31k, 45k y 50k, empleando las Normas de la familia ISO 31000, y Configuración de un Modelo para la Planificación, Implementación y Operación del Sistema Integral de Gestión QHSE3+ para PYMEs, fundamentado en Gestión Integral de Riesgos y Configuración de Instrumentos y Herramientas de Masificación para el SIG QHSE3+,

c. Formulación, Planificación y Desarrollo de Casos de Aplicación Preliminar de los Modelos y Herramientas Generadas,

d. Fase final formal de la investigación correspondiente a la preparación del informe o documento de Tesis, y la socialización de Resultados, Lecciones Aprendidas y Directrices para Proyectos Futuros.

En las etapas antes relacionadas se conjuga la metodología de Investigación Aplicada, con la Investigación Cualitativa y Cuantitativa, requeridas para abordar, definir el problema, investigar, comprobar y/o rechazar/reformular las hipótesis que fundamentan el modelo conceptual y posteriormente la configuración y aplicación preliminar de los instrumentos y herramientas de implementación, a partir del acercamiento retrospectivo al problema y el estudio de casos individuales, mediante diagnósticos, sondeos, pruebas piloto y observación directa, para finalmente concluir y hacer un inventario y proyección de las lecciones aprendidas y las proyecciones para la divulgación y la continuidad en procesos paralelos de investigación. Por otra parte, se parte de los siguientes elementos conceptuales y estructurales:

- El Modelo de Gestión Integral de Riesgos propuesto por los autores en el Primer Volumen de la Serie GEES, (Poveda & Cañón, 2015-A),
- El enfoque general de las Normas de la Familia ISO 31000, planteadas desde la Comisión Técnica ISO TC 262, liderada por los equipos de trabajo australianos y neozelandeses, con su norma matriz ASNZ 4360:2009.
- La estructura de alto nivel HLS planteada por ISO TC 176 para todas las normas de sistemas de gestión.
- Los planteamientos del modelo de integración PAS 99 formulados por BSI y AENOR en su segunda versión del 2012, y convertidos en el 2015, en el Anexo SL de ISO, en línea con la Guía ISO 83 para la redacción de Normas de Sistemas de Gestión.
- Los principios fundamentales para la gestión, el pensamiento basado en riesgos, el ciclo administrativo PHVA y el enfoque de procesos: planteados en ISO 9000:2015, la Guía ISO IEC 73:2009, la familia de Normas ISO 31000, ISO 14001:2015, y los Borradores de Norma en curso de desarrollo ISO DIS 45001:2016 e ISO DIS 14004:2016.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- La adecuación del enfoque de análisis estratégico de fuerzas (Porter, 1991), y su aplicación al análisis del contexto empresarial (Sánchez, 2003), bajo las premisas de ISO 9004:2008 en cuanto al éxito sostenible de los negocios.
- La experiencia en la configuración de herramientas para la implementación de sistemas de gestión bajo plataformas Excel, desarrollada por los autores en proyectos BID FOMIN, y en la gestión de consultoría de las firmas ASTEQ y QUARA.

4. RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Etapa de planificación general y estudio del estado del arte

Como resultado del Estudio del Estado del Arte se plantean las siguientes conclusiones básicas:

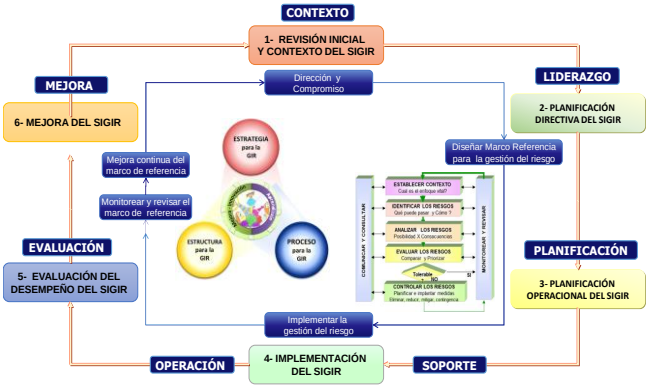
- En cuanto a los sistemas de gestión y las Pymes, la investigación mostró que no obstante los planes de desarrollo, los incentivos y las tecnologías, las cifras y tendencias se mantienen, y el desafío por contribuir en mejorar uno de los músculos claves de la economía y el desarrollo, cobra mayor relevancia (Capelleras & Kantis, 2009).
- En cuanto al diseño de modelos conceptuales, se ratificó la bondad de la aplicación del método sistémico. (Poveda, García & Hernandis, 2016).
- En materia de Gestión Integral de Riesgos (GIR), se concluyó que las buenas prácticas de la familia ISO 31000, marcan la pauta para configurar una buena guía de GIR, integrando las diferentes componentes de riesgos QHSE3+.
- En lo relacionado con la Gestión QHSE3+, se concluyó que con la Revisión de las normas ISO del 2015/2017, y el enfoque del PAS 99, traducido finalmente a la estructura jerárquica de alto nivel HLS, se consolida la integración y correlación de las Buenas Prácticas para los Sistemas de Gestión, bajo los ejes de la Planificación Estratégica de los Negocios, el Pensamiento basado en Riesgos y el Enfoque de Procesos.
- Se consolidó una base de documentos y normas de referencia que permiten soportar desde el portal GEES la gestión de los emprendedores.

4.2. Configuración de los modelos GIR, QHSE3+ y de las herramientas de soporte

Con la publicación en el Portafolio ICONTEC de la Guía para la Gestión Integral de Riesgos y la apertura del portal www.gees.com.co, se realizó el lanzamiento de la serie Gestión para el Éxito Empresarial GEES.

Con esta serie GEES y el portal asociado, se inició en Octubre de 2015 la divulgación del Modelo para la Gestión Integral de Riesgos GIR, y de las herramientas a las que se accede libremente desde este *website*. A continuación, en la Figura 1, el enfoque gráfico de los modelos GIR y QHSE3+, y su relación con la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HSL que tendrán las Normas ISO sobre Sistemas de Gestión:

Figura 1. Modelo conceptual para la GIR



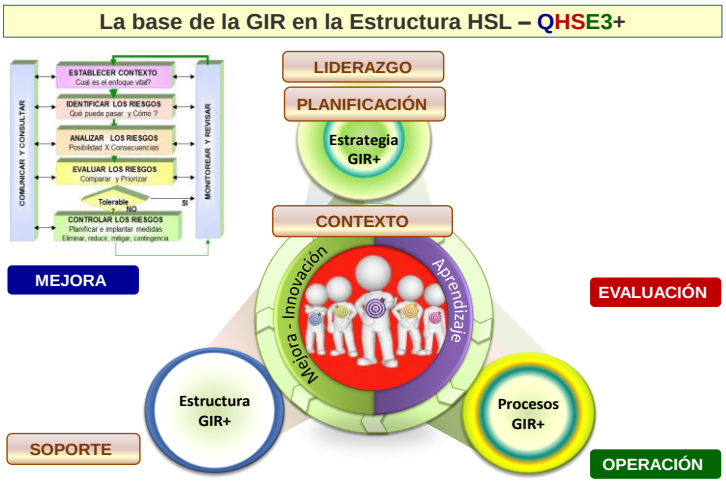
Fuente: Poveda & Cañón (2015-A)

ISBN: 978-958-5430-49-5

En la ilustración y el detalle planteado en la figura 2, se puede apreciar como el corazón del modelo de Gestión de Riesgos está ligado a la interacción entre el aprendizaje, la mejora y la innovación, para la toma de decisiones que tienen lugar en los diferentes procesos de la estructura de alto nivel HLS o sea, los procesos de Gestión del Contexto, Liderazgo, Planificación, Operación, Evaluación y Mejora, articulados en un ciclo que se da en cada uno de los riesgos de las componentes QHSE3+, en cuanto a:

- Comprensión del contexto de cada proceso.
- Identificación de los riesgos y oportunidades
- Análisis de las posibilidades e impacto de los riesgos y oportunidades. Evaluación de las prioridades.
- Formulación, ejecución, monitoreo, ajuste y socialización de las medidas adoptadas para abordar los riesgos y oportunidades, y valoración del riesgo residual y la reducción de la vulnerabilidad.

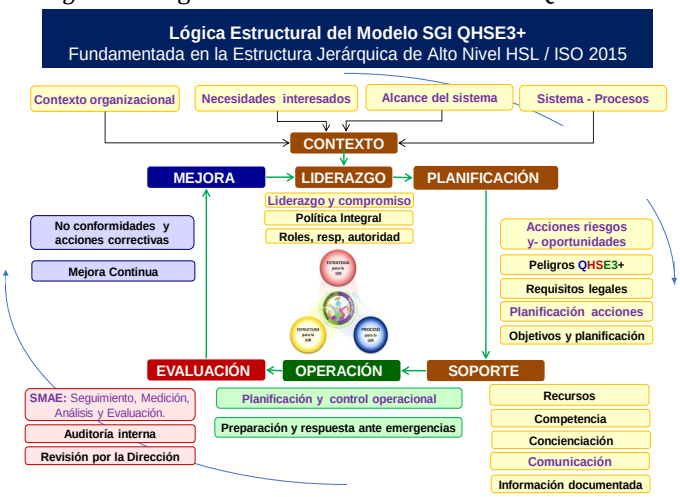
Figura 2. Detalle central del modelo GIR



Fuente: Poveda & Cañón (2015-A)

A continuación, en la Figura 3 y en la Figura 4, con la Lógica Estructural y Operacional del Modelo se aprecia la correlación entre la componente GIR y el modelo propiamente dicho del SGI QHSE3+, dado que la función de riesgos y oportunidades es transversal al Sistema de Gestión Integral en cada una de sus componentes según el riesgo sea de calidad, seguridad y salud en el trabajo, gestión ambiental, eficiencia energética u otra línea de riesgos que se requiera considerar dentro del modelo.

Figura 3. Lógica estructural del modelo SGI QHSE3+.



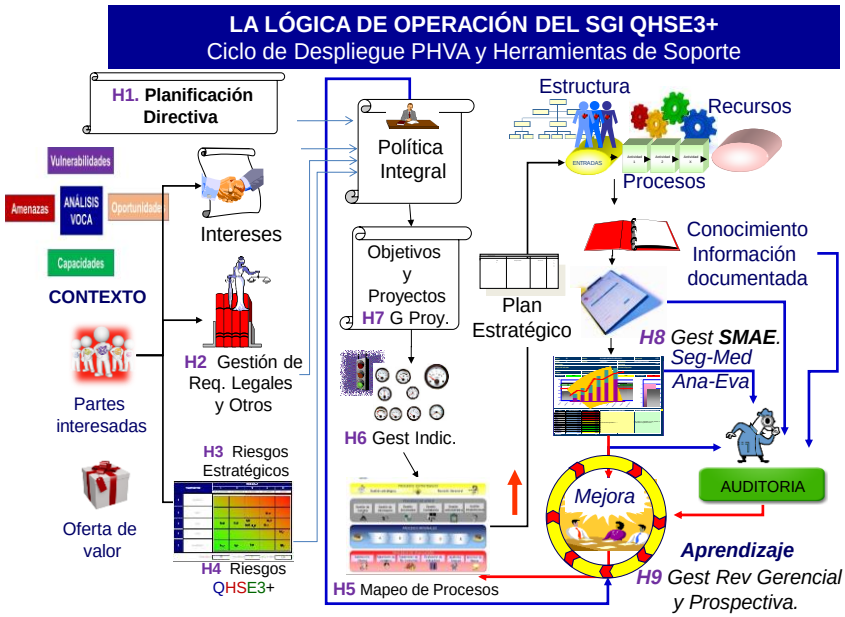
Fuente: Elaboración propia

ISBN: 978-958-5430-49-5

Con la figura 4, se complementa la ilustración del modelo al presentar la secuencia lógica de operación del SGI, que incluye la referencia a Herramientas de Soporte, indicadas con la letra H:

- La planificación directiva (H1), que comprende el análisis del contexto, las partes, los interesados, la oferta de valor, la gestión de requisitos (H2), los riesgos estratégicos del negocio (H3), la política y los objetivos, los proyectos (H7), y el plan estratégico con su tablero de indicadores del SGI (H6).
- La planificación operacional QHSE3+ (H4), que incluye adicionalmente el mapeo de procesos (H5).
- El funcionamiento del SGI considerando el despliegue y operación de los procesos con los recursos, la organización y la infraestructura de soporte y la gestión del conocimiento o del mejor saber hacer.
- El ciclo de realimentación asociado al Seguimiento, Medición, Análisis y Evaluación SMAE (H8), en conjugación con la Auditoría, la Revisión Gerencial, el Aprendizaje y la Mejora (H9).

Figura 4. Lógica operacional del modelo SGI QHSE3+



Fuente: Elaboración de los Autores

A la fecha de la presentación de este documento se ha iniciado un piloto de aplicación contra las normas revisadas, y se encuentra en pre-prensa el segundo volumen de la serie de libros GEES, que hace parte del portafolio de gestión empresarial del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), y que corresponde a la Guía para Implementar un Sistema de Gestión Integral QHSE3+, con documentos de soporte ubicados en el portal www.gees.com.co, que apoyan la masificación del modelo conceptual que hemos ilustrado con las figuras precedentes, y las herramientas H1 a H9 e instrumentos para facilitar la comprensión y aplicación de las nuevas normas de referencia, realizar el Diagnóstico del SGI QHSE3+ mediante listas de chequeo con preguntas claves ligadas a cada Principio de Gestión, o a cada norma y sus requisitos.

Esta batería para el diagnóstico y las Plantillas ligadas a la aplicación de las Herramientas H1 a H9 se ven complementadas con herramientas adicionales para la formulación del Proyecto, que incluyen la Estructura de Desglose de Entregables para la implementación EDT, y la Ruta Paso a Paso de Implementación. Adicionalmente, en el portal se incluyen documentos de referencia, guías y ejemplos particulares, que se pueden consultar en las publicaciones y en el portal de soporte.

4.3. Formulación y desarrollo de los casos de aplicación, lecciones aprendidas

El enfoque de la configuración del Proyecto para la implementación del SGI QHSE3+ y la configuración general de las herramientas ha sido validada en retrospectiva por los autores en Proyectos BID-FOMIN con la

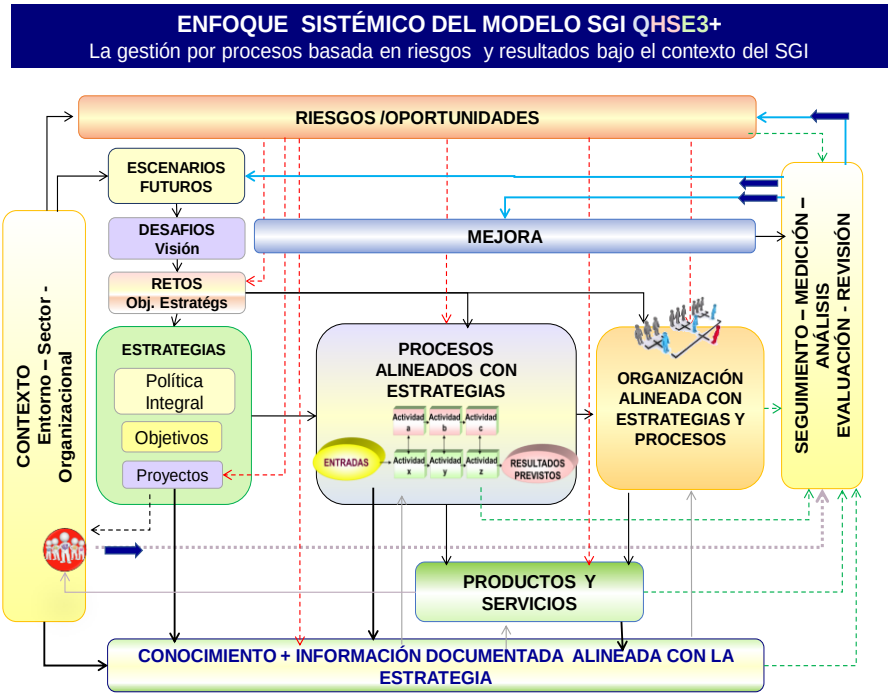
ISBN: 978-958-5430-49-5

Corporación Calidad y Gestión Ambiental CYGA, en Colombia, con la Sociedad Nacional de Industrias SNI del Perú, y con la Cámara de Industrias CADIN de Nicaragua, durante la gestión de proyectos de consultoría de las firmas de Consultoría ASTEQ y QUARA, en organizaciones de manufactura, alimentos y servicios, al igual que en ejercicios realizados con estudiantes de cátedras de posgrado, que aplicaron las herramientas de diagnóstico, de riesgos y de planificación en sus empresas de trabajo.

Las herramientas ya configuradas para las normas en revisión de las componentes QHSE3+ se encuentran en fase de aplicación piloto, los resultados obtenidos a la fecha han permitido ratificar:

- La pertinencia de la creación del modelo con herramientas al servicio de los emprendedores, dado que solo se han desarrollado modelos similares para la gestión de proyectos dirigidos a las Pymes (Marcelino-Sádaba *et al.,* 2014).
- La validez de las herramientas en cuanto al cubrimiento de los requisitos y el aporte a los usuarios para facilitar su comprensión y aplicación.
- La pertinencia del enfoque sistémico del modelo para planificar e implementar el SGI QHSE3+, y facilitar la sinergia y simplificación en la aplicación de las normas de referencia, utilizando las normas de la familia ISO 31000.
- Las bondades de realizar al iniciar un diagnóstico fundamentado solamente en los principios de gestión que permite hacer una primera valoración sobre el SGI QHSE3+ sin necesidad de haber explicado o analizar el enfoque y estructura de las normas.
- La correlación efectiva entre el diagnóstico fundamentado en los principios, y la valoración de la conformidad con el instrumento de diagnóstico que integra las listas de chequeo de cada referencial.
- La efectividad pedagógica e ilustrativa de las estructuras de paquetes de trabajo para configurar el cronograma del proyecto.

Figura 5. Enfoque sistémico del modelo SGI QHSE3+

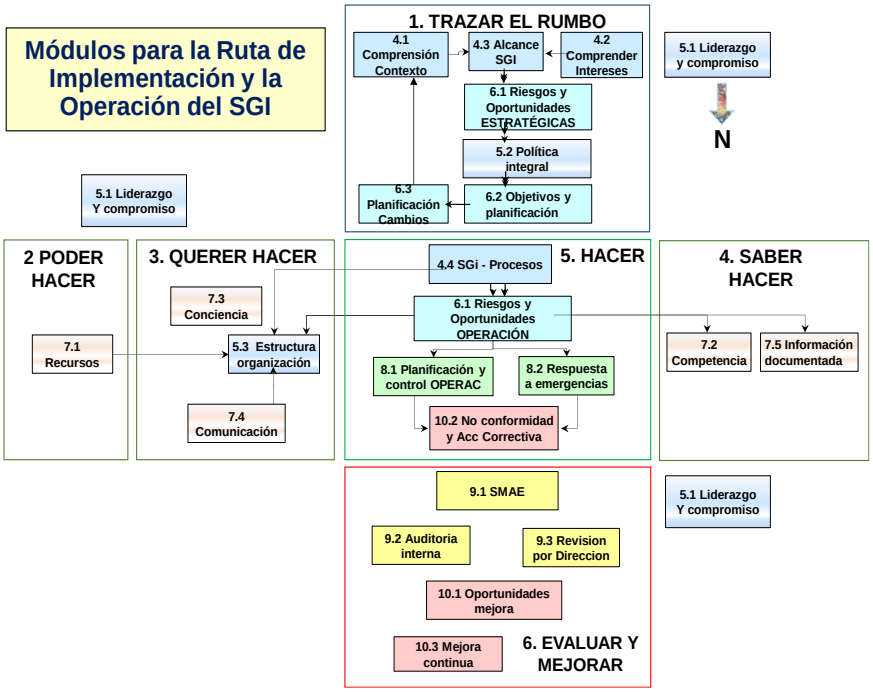


Fuente: Elaboración propia

ISBN: 978-958-5430-49-5

En la figura 5 se ilustra el modelo sistémico con un enfoque estratégico soportado en la integración armónica de los procesos y los productos/servicios generados, bajo un ciclo PHVA que tiene como líneas transversales la Gestión de Riesgos y Oportunidades y la Gestión del Conocimiento y del Mejor Saber Hacer (Información Documentada o Tecnología del Trabajo).

Figura 6. Módulos para implementar y operar el SGI QHSE3+



Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se ilustra la lógica de la ruta de implementación, que tiene módulos secuenciales, sobre la base del Rumbo, el Poder, el Querer, el Hacer y Saber Hacer, y el Evaluar y Mejorar, cubriendo los procesos y requisitos de las Normas QHSE3+.

4.4. Consideraciones para proyectos futuros

La formulación del modelo y de la ruta de implementación con herramientas fundamentadas en la gestión de proyectos, permiten plantear en perspectiva la posibilidad de generar diferentes líneas de investigación por componente del SGI, y para las funciones de planificación, directiva y operacional, fundamentadas en el enfoque de procesos y el pensamiento basado en riesgos, dirigidas a sectores específicos de la economía, al igual que otras líneas de investigación y desarrollo que dinamicen y potencien, la divulgación y masificación generalizada del modelo y las herramientas, para que sean puestas de manera efectiva al servicio de los emprendedores y las Pymes.

5. CONCLUSIONES Y LECCIONES APRENDIDAS

A título de conclusión general, se resumen a continuación los puntos de innovación, los aportes, y los logros específicos generados:

- La configuración y validación de un modelo de trabajo sencillo que facilita aplicar los ciclos y etapas para implementar los SGI-QHSE3+, bajo un enfoque de prevención fundamentado en la gestión integral de riesgos (GIR), y en la aplicación de las buenas prácticas y la inteligencia de la información para la toma de decisiones.
- El desarrollo y validación de Instrumentos para el Diagnóstico y configuración del SGI, y para la planificación directiva y operacional focalizada en los negocios Pymes.

ISBN: 978-958-5430-49-5

- La inclusión dentro del modelo QHSE3+ del enfoque de procesos, la gestión de proyectos, y la planificación directiva y operacional, considerando la gestión de diseño y desarrollo de productos.
- La aplicación efectiva del método sistémico, para el diseño de los modelos GIR y SGI- QHSE3+ y su utilidad en el análisis funcional, ergonómico y formal de los modelos y de cada una de sus componentes.
- La capacidad de traducir los modelos y referenciales ISO 31000:2009, ISO 9001:2015, ISO DIS 45001:2016, ISO 14001:2015 e ISO 50001:2011, en un enfoque modular e integral basado en los principios de gestión y la gestión de riesgos, y ajustado a la estructura de alto nivel ISO HLS, con referencia a las buenas prácticas definidas y/o actualizadas en las revisiones de las normas ISO con requisitos sobre sistemas de gestión, y en las familias adicionales de normas ISO con directrices sobre cada tema, que se han generado en las últimas décadas.
- El desarrollo de herramientas de análisis del contexto, y planificación directiva y operacional que incluyen la aplicación del pensamiento basado en riesgos, y la reducción de la vulnerabilidad a nivel directivo y de cada proceso.
- La medición global de la efectividad del SGI, a partir del cálculo de la reducción del porcentaje de vulnerabilidad, medido conforme a la expresión de la Ecuación 1, aplicable a cada una de las componentes de riesgos QHSE3+, y la obtención en los proyectos de aplicación, de disminuciones porcentuales de vulnerabilidad entre el 15% y el 23%, que pueden llegar a representar cifras mayores en términos de reducción de costos y prevención.

$$\%DismVul = \left[\sum_{i=1}^{n}(Po_i)(Go_i) - \sum_{i=1}^{n}(Pf_i)(Gf_i)\right] \Big/ \left[\sum_{i=1}^{n}(Po_i).(Go_i)\right] \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

- %DismVul corresponde al porcentaje de Disminución de la Vulnerabilidad,
- *Poi* y *Goi* representan la valoración inicial de la Posibilidad y la Gravedad de cada riesgo, en tanto que *Pfi* y *Gfi* corresponden a la Posibilidad y Gravedad finales, después de haber puesto en aplicación las medidas de prevención asociadas a las Buenas Prácticas.

La apertura y generación de campos para nuevas investigaciones y proyectos PYME con herramientas sectoriales para los diferentes tipos de empresas PYME y proyectos de desarrollo de nuevos productos y negocios, emprendimiento, inversiones y desarrollo urbano, social, tecnológico e industrial. El desarrollo de la serie de publicaciones GEES para el éxito sostenible, iniciada con la Guía para la Gestión Integral de Riesgos GIR.

LISTA DE REFERENCIAS

British Standard Institution BSI (2012), *Specification of common management system requirements as a framework for integration PAS 99*. London.

Capelleras, J. L., & Kantis, H. D. (2009). *Nuevas Empresas en América Latina. Factores que favorecen su rápido crecimiento.* Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Servei de Publicacions.

CEE. (2003, Mayo 6). C 2003 1422 Definition of micro, small and medium enterprises. *Official Journal of the European Union*, pp. L 124/36 - L 124/41.

Baena y Sanchez (2003). El entorno empresarial y la teoría de las cinco fuerzas competitivas. *Scientia et Technica, 9(23),* 61 - 66.

Council of Standars Australia and Council of Standars (2009). *Risk Management ASNZ 4360:2009,* Sydney and Wellington. ISBN 07337 575810

ISBN: 978-958-5430-49-5

Del Caño, A., & De La Cruz, M. (2002, November/December). Integrated Methodology for Project Risk Management. *Journal of Construction Engineering and Management, 128*(6), 473-485. doi: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:6(473)

Hernandis, B. & Briede, J. C. (2009). An educational application for a product design and engineering systems using integrated conceptual models. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 17*(3), 432-442.

Hernandis, B. & Briede, J. C. (2009). An educational application for a product design and engineering systems using integrated conceptual models. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 17*(3), 432-442.

International Standards Organization ISO (2009). *Risk Management. Principles and Guidelines. ISO 31000:2009*, Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2009). *ISO - IEC Guide 73:2009 Risk Management - Vocabulary*, Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2009). *Managing for the Sustained Success of an Organization. A Quality Management Aproach. Six Revision. ISO 9004:2009.* Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2011). *Energy management systems -- Requirements with guidance for use, ISO 50001: 2011.* Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2012). *Draft ISO Guide 83:2012. High level structure and identical text for management system standards and common core management system terms and definitions.* Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2015). *Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. ISO 9000:2015.* Fourth Edition. Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2015). *Quality management systems - Requirements. ISO 9001:2015.* Fifth Edition. Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2015). *Environmental Management Systems. Require-ments with guidance for use. ISO 14001:2015.* Thirth Edition. *ICS:13.020.10; 03.100.70* Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2016). *Environmental Management Systems. General guidelines on implementation ISO FDIS 14004:2016.* Thirth Edition. ICS:13.020.10; 03.100.70. Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2016). *Occupational health and safety management systems. Requirements with guidance for use. ISO DIS 45001:2016Q.* First Edition. Geneva, Switzerland.

International Standards Organization ISO (2015). *ISO/IEC Directives, Part 1. Consolidated ISO Supplement. Procedures specific to ISO. Appendix SL.* Pp 116 a 13. Annex SL Guidance documents (http://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId =16347818&objAction=browse&viewType=1).. Geneva, Switzerland.

Marcelino-Sádaba, S., Pérez-Escurdia, A., Echeverría Lazcano, A., & Villanueva, P. (2014). Project risk management methodology for small firms. *International Journal of Project Management*(32), 327-340.

Porter, M. (1991). *La Ventaja Competitiva de las Naciones.* Buenos Aires, Argentina: Plaza & Janes.

Poveda, P. & Cañón, G., (2015-B). *Herramientas para implementar un Sistema de Gestión de Calidad según ISO 9001* (4a en pre-prensa ed.). Bogotá: ICONTEC.

Poveda, P. & Cañón, G. (2015-A). *Guía para la Gestión Integral de Riesgos. Comprender, decidir y actuar con inteligencia para el éxito sostenible.* Bogotá D. E.: ICONTEC.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Poveda, P. P., García, J. C., & Hernandis, B. (2016). Aplicación del Método Sistémico al Diseño de un Modelo Conceptual para Sistemas Integrales de Gestión QHSE3+ en PYMES. *Sistems & Design. Beyond Process and Thinking 2016. Electronic Book Proceedings June 22-24, 2016.* (pp. 651-664). Valencia, España.

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE – (GRASP) APPLIED TO THE UNCONSTRAINED TWO-DIMENSIONAL GUILLOTINE SINGLE KNAPSACK PROBLEM

Guillermo Camacho[1]
David Álvarez Martínez[2]
Paula Velasco Carvajal[3]

RESUMEN

El artículo presenta una heurística adaptada al problema de la mochila bidimensional con cortes tipo guillotina. El problema consiste en realizar el corte ortogonal de un subconjunto de piezas contenidas en una pieza rectangular mayor, garantizando el valor máximo de la suma de valores de cada pieza cortada. Existen varias propuestas en la literatura para resolver el problema, sin embargo, pocas extienden el alcance hasta la integración de los módulos software con sistemas de corte automáticos. Esta investigación se divide en dos fases: (i) definición del patrón de corte óptimo mediante adaptación del algoritmo GRASP (*Greedy Adaptative Search Procedure*) e (ii) integración del módulo de optimización con una celda robótica de corte. La validación de la primera fase se realiza mediante comparación de soluciones reportadas en la literatura vs soluciones obtenidas con nuestra propuesta. En esta comparación se utilizan los indicadores tiempo de cómputo y área utilizada por la solución. Los resultados permiten concluir que nuestra propuesta logra obtener buenos indicadores de desempeño que en algunos casos igualan las soluciones calculadas con métodos exactos, en menores tiempos de cómputo. La segunda fase permite comprobar la viabilidad de las soluciones calculadas y explorar mejoras sobre la solución dependiente del material a cortar y la tecnología de corte.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de la mochila bidimensional es descrito por (Kantorovich, 1960) y (Gilmore & Gomory, 1963) y tiene aplicación en tareas de corte de material en dos dimensiones. Este problema tiene como objetivo maximizar el beneficio asociado a las piezas cortadas y/o minimizar el desperdicio. En este trabajo se presenta la adaptación del algoritmo GRASP para resolver el problema de la mochila bidimensional. Este algoritmo fue introducido por (Feo & Resende, 1989) su nombre representa la filosofía de exploración: procedimientos de búsqueda voraces y aleatorizados que se adaptan. La adaptación implementada consiste en un procedimiento iterativo en dos fases: una fase de construcción, realizada por un algoritmo voraz y una fase de mejora, realizada por un algoritmo de búsqueda local. Además de esto, el algoritmo tiene un esquema de autoajuste de parámetros en especial el tamaño de la lista restricta de candidatas y el criterio de selección de soluciones promisorias para entrar a la etapa de mejora. El desempeño del algoritmo propuesto se evalúa en instancias clásicas reportadas en la literatura. Los resultados obtenidos son comparados con las mejoras soluciones publicadas teniendo en cuenta los criterios de: calidad de la solución y tiempo computacional. El algoritmo presenta un comportamiento sobresaliente logrando mejorar algunas soluciones propuestas. Además de esto, los patrones generados son integrados con un sistema automático de corte basado en el uso de robots industriales, permitiendo mejorar la exactitud de la tarea de corte.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Mochila bidimensional rectangular

En este trabajo se considera la variante del problema en donde tanto las piezas requeridas como la placa original, son rectangulares. El problema puede ser formulado a partir de la descripción de los objetos del

[1] Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, gacamacho@lasalle.edu.co
[2] Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, d.alvarezm@uniandes.edu.co
[3] Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, pvelasco15@unisalle.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

sistema: R, P y las funciones π, b (Fayard, Hifi, & Zissimopoulos, 1998). $R = (L, W)$ es la pieza original (mochila) con largo L y ancho W. $P = \{P_1, \quad P_2, \quad \cdots \quad P_m\}$ es un conjunto de m piezas con $P_i = (l_i, w_i)$; es decir, una pieza de longitud l_i y ancho w_i, para $i = 1,2, \dots, m$. Finalmente, π y b son funciones que asignan a cada pieza P_i un peso o beneficio π_i y un número máximo de ejemplares a cortar b_i, respectivamente. El propósito es cortar del rectángulo R, x_i copias de la pieza P_i cumpliendo las restricciones (1−2): (1) no exceder la cantidad de piezas demandadas, $0 \leq x_i \leq b_i$ para $i = 1,2, \dots, m$, (2) evitar que las piezas ubicadas en la placa se traslapan entre sí. Teniendo como objetivo maximizar el beneficio total $\sum_{i=1}^{m} \pi_i x_i$. Una secuencia de cortes (patrón de corte) de R en pequeñas piezas rectangulares será referida como solución. En la Tabla 1 se resumen las variantes más comunes del problema

Tabla 1. Variantes del problema

CARACTERÍSTICA	POSIBLES VALORES
Costo de la pieza	Ponderada (weigthed)
	No ponderada (unweigthed)
Orientación	Fija (fixed)
	Con Rotación
Límite de ejemplares	Restricto
	Irrestricto
Patrón de corte	Guillotina
	No Guillotina

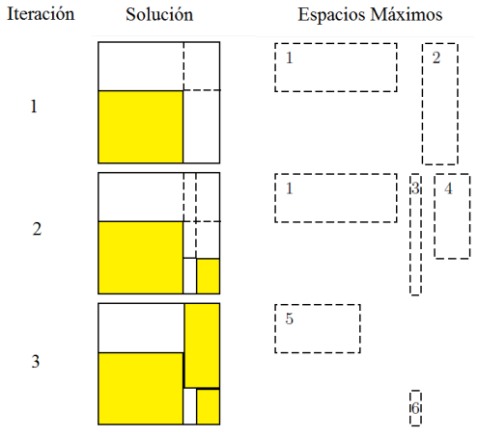
La versión ponderada se caracteriza porque la función π es independiente del área de la pieza P_i. La versión con rotación se caracteriza porque (l_i, w_i) y (w_i, l_i) representan la misma pieza P_i. En la versión irrestricta todos los b_i son calculados como $\lfloor L/l_i \rfloor \lfloor W/w_i \rfloor$. Finalmente, en la versión guillotina los cortes aplicados atraviesan la placa de un extremo a otro; note que esta última característica es propia de la tecnología de corte disponible para ejecutar el proceso.

2.2. Algoritmos GRASP

El algoritmo GRASP implementado combina un algoritmo constructivo con una estrategia de mejora. El algoritmo constructivo adiciona piezas P_i a la solución en cada iteración adecuando la versión presentada en (Alvarez-Martínez, Alvarez-Valdes, & Parreño, 2015) y utilizando el concepto de espacios máximos. Los espacios máximos son una lista de espacios vacíos de mayor área remanentes o disponibles para contener piezas P_i. Cada pieza que ingresa a la solución es asignada a un nuevo espacio, actualizando la lista de espacios máximos como se indica en la Figura 1. El Algoritmo 1 documenta la estrategia para resolver la etapa constructiva. Este algoritmo utiliza como entradas una lista P con las piezas que esperan ser cortadas y el descriptor de la placa original R.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Figura 1. Evolución de espacios máximos en tres iteraciones de la fase constructiva



Fuente: Parreño *et al.* (2008)

Algoritmo 1. Fase constructiva del algoritmo propuesto

function GRASP_Constructivo (*P*, *R*): List *solución*
1 inicializa *S*, *solución*
2 **while** P ≠ Ø or S≠ Ø **do**
3 *s* ←seleccioneMaximosEspacios(*R*, *S*)
4 *p* ←seleccionePieza(*P*,*criterio*,*s*)
5 *solución*←adicionePiezasASolucion(*s*,*p*, *solución*)
actualice(*P*,*S*,*p*,*s*)
6 **end**
7 **return** *solución*
8 **end**

Como variable local se declara e inicializa una lista de espacios máximos S y una lista solución. En la línea tres el algoritmo aplica un mecanismo de selección para escoger un espacio máximo. Este mecanismo usa dos criterios: (1) distancia euclidiana mínima a una de las esquinas de R, (2) espacio máximo de menor área. Inicialmente se aplica el primer criterio, sólo en caso de empate, se aplica el segundo criterio. El primer criterio busca consumir espacios desde el extremo de la placa hacia el centro. El segundo criterio es la estrategia para usar los espacios máximos de mínima dimensión. En la línea cuatro se selecciona la pieza que será cortada utilizando dos criterios: (1) mejor encaje, (2) máxima área (*fitness*). Para el mejor encaje, el algoritmo calcula la distancia entre el borde de cada pieza y el extremo del espacio vacío seleccionado. Posteriormente, ordena la lista P en secuencia no decreciente de distancia. Finalmente, restringe la lista por medio del parámetro α (original del GRASP) y selecciona aleatoriamente una pieza de la lista de candidatos. El segundo criterio presenta el mismo comportamiento voraz y aleatorio, en el cual la pieza seleccionada aleatoriamente es una de los mejores candidatos que provocan mayor costo incremental para la función objetivo (máxima área o mayor beneficio). En la línea cinco, se adiciona a la solución la pieza p seleccionada en la línea cuatro, en el espacio máximo s escogido en la línea tres. Cada elemento de la solución contendrá los siguientes descriptores: identificador, beneficio, dimensiones y localización de la pieza dentro de la placa original.

En la línea seis se realiza la actualización de las listas S y P. Existen dos casos de actualización para S: (1) creación de nuevos espacios máximos y (2) eliminación de espacios máximos. El primer caso se ejecuta cuando la pieza p seleccionada no encaja de manera perfecta en el espacio máximo s. El segundo caso se ejecuta cuando hay encaje perfecto de p en s. El proceso se repite hasta que S o P sean vacíos, es decir, no hay más espacios máximos o no hay más piezas para cortar. Finalmente, en la línea ocho se retorna la solución calculada.

ISBN: 978-958-5430-49-5

Detalle del componente aleatorio. Para cada tipo de pieza P_i y cada orientación permitida, el método seleccione Pieza construye una capa, basado en un criterio de selección (mejor encaje, máxima área). Cada capa es llamada candidato y el conjunto de posibles candidatos es agrupado en la lista restricta de candidatos RCL. Posteriormente, se selecciona un candidato de forma aleatoria, basado en el parámetro clásico α (α ∈ [0, 1]).

Algoritmo 2. Fase de mejora del algoritmo propuesto

```
    function GRASP_MovMejora(P, R): List
1   mejorSolucion
2   for i in 0,1,2,...Imax do
3   solucion ← GRASP_Constructivo(P, R)
4   if FilteringSolution(solution) then
    mejorSolucion←improveMovement(solución)
5   end
6   end
7   return mejorSolucion
    end
```

- ***Movimiento de mejora,*** consiste en eliminar el k% de las piezas seleccionadas en la solución. El valor k fue seleccionado en el rango [30, 90]. Posteriormente, las piezas removidas y las piezas que no se incluyeron en la solución, son procesadas por una versión determinística del algoritmo constructivo ($\alpha = 1$). En esta mejora, el algoritmo constructivo utiliza ambas funciones objetivo: (1) mejor encaje, (2) máximo *fitness*. La etapa de mejora solo es invocada si la solución calculada por el algoritmo constructivo es una solución promisoria, como se indica en la línea tres del Algoritmo 2. Las soluciones son restringidas a aquellas que son mayores que un límite dinámico. En la primera iteración, este límite toma el valor de la primera solución entregada por el algoritmo constructivo. El procedimiento es detallado en (Alvarez-Martínez, Alvarez-Valdes, & Parreño, 2015).
- **Criterio de parada,** el esquema de búsqueda compuesto por la fase de construcción y de mejora se realiza un número máximo de iteraciones *Imax* o un tiempo máximo de cómputo. Este puede ser calibrado con respecto al número de ejemplares a cortar.

3. METODOLOGÍA

Para validar el desempeño del algoritmo propuesto, se aplicó una metodología basada en tres pasos: (1) selección de casos de prueba reportados en la literatura, (2) codificación del algoritmo propuesto y cálculo de la solución y (3) validación del desempeño. La validación se realizó sobre tres propiedades asociadas a la solución: calidad, tiempo de cómputo e integrabilidad.

3.1. Selección de casos de prueba

Este grupo de casos debía cumplir dos requisitos: mejor solución reportada y tiempos de cómputo de la solución conocidos. Se seleccionaron 24 casos de prueba que se dividen en grupos: GCUT y UU. El grupo GCUT contiene 13 casos de prueba y fue reportado por primera vez en (Beasley, 1985). El grupo UU contiene 11 casos de prueba y fue reportado por primera vez en (Fayard *et al.*, 1998). Ambos casos son irrestrictos y no ponderados, fueron resueltos por (Cintra, Miyazawa, Wakabayashi, & Xavier, 2008) y (Birgin, Lobato, & Morabito, 2011).

3.2. Codificación del *Graspcutting* v1.0 y cálculo de la solución

El algoritmo fue codificado en lenguaje C++ y se adicionaron rutinas para: visualizar la solución en una imagen y calcular indicadores asociados al desempeño de la solución entregada: porcentaje de área utilizada y tiempo de cómputo de la solución. En su versión actual (*GraspCutting v1.0*), el software recibe información descriptiva de las piezas a través de un archivo de texto. La solución calculada es almacenada en archivo de texto de salida, con un formato específico. Para obtener las soluciones se utilizó una máquina con procesador

ISBN: 978-958-5430-49-5

Intel® Core(TM) i7-4790 CPU 3.60GHz, memoria RAM de 8GB y sistema operativo Windows 7 ® 64-bits. Cabe observar que la herramienta propuesta se ejecuta en un único hilo, para el cual la CPU tiene un rating de 2286–mayores números significan mejores CPU (PassMark, 2016).

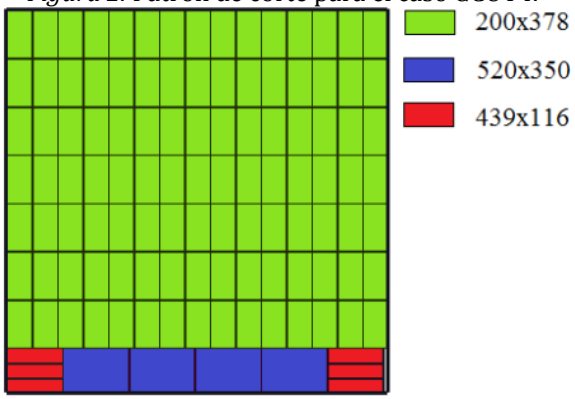
3.3. Validación del desempeño

La validación de calidad y el tiempo de cómputo de la solución se realizó mediante comparación entre algoritmo propuesto, versus las mejores alternativas. El indicador de calidad de solución se calcula mediante la siguiente ecuación (1).

$$\text{Utilización}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{A} \qquad (2)$$

Donde A es el área total de la placa y a_i es el área de la pieza i ubicada en la placa. La validación de integrabilidad del corte se realizó mediante implementación de una de las soluciones calculadas, en un banco de trabajo. El banco de trabajo se compone de un robot industrial, una máquina de corte por plasma y un módulo software de traducción. El módulo software se encarga de traducir la solución calculada por el algoritmo GRASP a un lenguaje interpretable por el robot que realiza el corte. Detalles de este desarrollo pueden ser consultados en (Camacho-Muñoz, Álvarez-Martínez & Velasco, 2016) y (Camacho-Muñoz, Álvarez-Martínez & Rodríguez, 2016). El caso seleccionado fue el GCUT13 y debió ser adaptado a las dimensiones del material disponible en laboratorio aplicando la escala 3500/700 (ver figura 2), la ejecución de una de las pruebas realizadas puede ser consultada en un video en línea al pie de página[4].

Figura 2. Patrón de corte para el caso GCUT4.



Fuente: Camacho-Muñoz *et al.* (2016)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el programa *GraspCutting* para los casos GCUT y para los casos UU. La primera y segunda columna contienen los resultados obtenidos por *GraspCutting*; la tercera y cuarta columna presentan los resultados de la solución reportada en Cintra, Miyazawa, Wakabayashi & Xavier (2008) y la quinta y sexta presentan los resultados reportados en Birgin *et al.* (2011). Los resultados muestran que el algoritmo propuesto consigue resolver instancias de pequeño y gran porte en tiempos computacionales razonables, conservando una calidad de solución cercana a las mejores publicadas en la literatura. Además de esto, cabe resaltar que el tiempo computacional de las metodologías propuestas por otros autores crece exponencialmente con relación al tamaño del problema (número de piezas demandadas) y la relación de tamaños entre la pieza original y las piezas demandadas. Lo anterior se puede notar en la Tabla 2 para los algoritmos propuestos por Cintra *et al.* (2008) y Birgin (2012) donde ocurre un aumento drástico en sus tiempos computacionales para los casos GCUT15-GCUT17, debido a que la relación de tamaño pieza original y piezas demandadas es casi 30 veces.

[4] Vídeo de corte: https://www.youtube.com/watch?v=pB0vM0wqkwM

ISBN: 978-958-5430-49-5

Se puede inferir entonces que para aplicaciones industriales donde existe un gran número de piezas demandadas y la relación de tamaño no es controlable, el algoritmo propuesto es ideal debido a que su tiempo de respuesta es estable al igual que la calidad de su solución. Es evidente que el algoritmo con mejor calidad publicado en la literatura es el presentado por Birgin (2012), dado que este fue ejecutado en un CPU con un rating de 2983 (PassMark, 2016), no es posible realizar un comparación justa en términos de tiempos computacionales. Mientras que con respecto a la calidad promedio de solución existe una diferencia del 0,27% del porcentaje de utilización a favor de Birgin (2012).

Tabla 2. Casos restrictos

CASO	GraspCutting		Cintra (2008)		Birgin (2012)	
	Solución %	Tiempo (seg)	Solución %	Tiempo (seg)	Solución %	Tiempo (seg)
GCUT1	90,34	1	93,02	0	93,57	9
GCUT2	95,74	1	96,98	0	97,83	17
GCUT3	96,58	2	98,60	0	98,04	31
GCUT4	99,32	3	99,62	0	99,07	48
GCUT5	98,40	1	98,40	0	98,40	11
GCUT6	94,13	1	96,38	0	97,44	23
GCUT7	98,35	2	98,35	0	97,72	29
GCUT8	98,90	3	99,11	0	99,13	53
GCUT9	97,11	1	97,11	0	97,11	12
GCUT10	98,20	1	98,20	0	98,20	20
GCUT11	97,46	2	98,01	0	98,01	31
GCUT12	98,00	3	98,87	0	98,00	49
GCUT13	99,68	3	100,00	22	99,98	1
GCUT14		4	100,00	118	99,96	47
GCUT15		6	100,00	121	99,97	876
GCUT16		7	100,00	161	99,99	1493
GCUT17		10	100,00	213	99,99	1763
UU1	98,04	1	–	–	97,2	106
UU2	98,54	2	–	–	99,2	120
UU3	98,05	1	–	–	96,8	106
UU4	98,76	3	–	–	97,4	145
UU5	99,47	3	–	–	99,2	186
UU6	98,53	2	–	–	98,8	145
UU7	99,37	4	–	–	98,6	186
UU8	98,44	4	–	–	99,0	212
UU9	99,45	4	–	–	99,2	231
UU10	98,82	4	–	–	98,30	312
UU11	99,44	3	–	–	99,73	105
Promedio GCUT	97,70	3,0	98,39	37,4	98,38	265,5
Promedio UU	98,81	2,9	–	–	98,49	168,5
Promedio Total	98,16	2,9	98,39	37,4	98,42	227,4

ISBN: 978-958-5430-49-5

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos tanto los casos GCUT como para los casos UU, se puede concluir que *GraspCutting* presenta un buen desempeño en cuanto al porcentaje de utilización de la placa original. *GraspCutting* calcula soluciones eficientes en un menor tiempo de cómputo, esto no es totalmente comparable debido a la diferencia de arquitecturas de cómputo y programación, sin embargo, sí se resalta el comportamiento estable de los tiempos del algoritmo, en especial su independencia con las relaciones de tamaño entre pieza original y piezas demandadas.

Considerando los resultados mostrados se puede decir que, a pesar de no superar gran porcentaje de los casos en ambos indicadores, se tienen datos muy cercanos a los mejores reportados. Esto permite validar la funcionalidad de *GraspCutting.* Como trabajos futuros se propone adecuar el algoritmo GRASP utilizado, para el problema de corte irregular que tiene un gran espectro de aplicación en la industria.

LISTA DE REFERENCIAS

Álvarez-Martínez, D., Álvarez-Valdés, R. & Parreño, F. (2015). A GRASP algorithm for the container loading problem with multi-drop constraints. *Pesquisa Operacional*, *35*(1), 1–24. https://doi.org/10.1590/0101-7438.2015.035.01.0001

Beasley, J. E. (1985). Algorithms for Unconstrained Two-Dimensional Guillotine Cutting. *The Journal of the Operational Research Society*, *36*(4), pp. 297–306. https://doi.org/10.1057/jors.1985.51

Birgin, E. (2012). Recursive partitioning approach for the Distributor's Pallet Loading Problem.

Birgin, E. G., Lobato, R. D., & Morabito, R. (2011). Generating unconstrained two-dimensional non-guillotine cutting patterns by a Recursive Partitioning Algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, *63*(2), 183–200. https://doi.org/10.1057/jors.2011.6

Camacho-Muñoz, G. A., Álvarez-Martínez, D., & Rodríguez, C. (2016). Direct Kinematic Model of the HP20D Manipulator. In J. J. G. Peláez (Ed.), *Proceedings of the 5th Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización* (pp. 1–7). Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga.

Camacho-Muñoz, G., Álvarez-Martinez, D., & Velasco, P. (2016). Two Dimensional Knapsack problem using industrial Robots. In COPPE/UFRJ (Ed.), *International Conference on Engineering Optimization* (pp. 124 – 130). Brazil. https://doi.org/978-85-7650-522-8

Cintra, G. (2008). *Unconstrained two-dimensional guillotine cutting.*

Cintra, G. F., Miyazawa, F. K., Wakabayashi, Y. & Xavier, E. C. (2008). Algorithms for two-dimensional cutting stock and strip packing problems using dynamic programming and column generation. *European Journal of Operational Research*, *191*(1), 59–83. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.007

Fayard, D., Hifi, M. & Zissimopoulos, V. (1998). An efficient approach for large-scale two-dimensional guillotine cutting stock problems. *Journal of the Operational Research Society*, *49*(12), 1270–1277. https://doi.org/10.2307/3010152

Feo, T. A. & Resende, M. G. C. (1989). A Probabilistic Heuristic for a Computationally Difficult Set Covering Problem. *Operations Research Letters*, *8*, 67–71.

Gilmore, P. C. & Gomory, R. E. (1963). A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem - Part II. *Operations Research*.

Kantorovich, L. V. (1960). Mathematical Methods of Organizing and Planning Production. *Management Science*, *6*(March), 366–422. https://doi.org/10.1287/mnsc.6.4.366

ISBN: 978-958-5430-49-5

Parreño, F., Alvarez-Valdes, R., Oliveira, J. F. & Tamarit, J. M. (2008). Neighborhood structures for the container loading problem: a VNS implementation. *Journal of Heuristics*, *16*(1), 1–22. https://doi.org/10.1007/s10732-008-9081-3

PassMark. (2016). CPU Benchmarks. Retrieved from https://www.cpubenchmark.net/common_cpus.html

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5

GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE - (GRASP) APPLIED TO THE THREE DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM 3D-BPP

Guillermo Camacho[1]
David Álvarez Martínez[2]
Daniel Cuellar[3]

RESUMEN

Este artículo presenta una heurística adaptada a instancias del problema de empaquetamiento en contenedores de tres dimensiones (3D-BPP). El problema se divide en dos fases: (i) empaquetado de cajas en estibas de tamaño fijo, (ii) carga de estibas en un grupo de vehículos heterogéneo, garantizando las restricciones asociadas a la carga, las estibas y los vehículos. En la primera fase se busca minimizar el número de estibas utilizadas, en la segunda fase se debe minimizar el costo de los vehículos seleccionados para transportar la carga. La metodología se divide en tres etapas (i) caracterización de un caso de estudio real, (ii) cálculo de la solución utilizando la heurística propuesta y utilizando una herramienta comercial de empaquetado, (iii) comparación de soluciones obtenidas utilizando los indicadores: tiempo de cómputo de la solución, porcentaje de utilización alcanzado por la solución. Los resultados permiten concluir que las herramientas utilizadas alcanzan soluciones factibles, en tiempos aceptables. La comparación exhibe superioridad el desempeño de las soluciones calculadas por nuestra propuesta, en comparación con la herramienta comercial. Como resultado adicional, se valida la estabilidad estática de las soluciones implementando el empaquetamiento en una celda robótica automatizada.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de embalaje tridimensional (*Three Dimensional Multiple Bin-Size Bin Packing Problem*, MBSBPP) consiste en cargar ítems rectangulares, en un número finito de contenedores, buscando minimizar el número de contenedores requeridos, cumpliendo un conjunto de restricciones. Una revisión de las restricciones es presentada en (Bortfeldt & Wäscher, 2013). Existen múltiples categorías del problema, en este trabajo nos concentramos en las categorías denominadas: *Distributor's Pallet Packing Problem* (DPPP) (Ballew 2000) y *Multiple Bin-Size Bin Packing Problem* (MBSBPP) (Friesen & Langston, 1986). En el DPPP se busca empacar un conjunto fuertemente heterogéneo de carga en el mínimo número de estibas idénticas. En el MBSPP se busca empacar un conjunto de carga en un grupo fuertemente heterogéneo de contenedores, de tal forma que el volumen de los contenedores utilizados sea minimizado. La selección de estas categorías obedece al requerimiento logístico de una empresa de carga localizada en la ciudad Bogotá: empacar mercancía, primero en estibas y luego su respectiva carga en vehículos para el transporte. En la literatura se han reportado varias soluciones para este tipo de problemas (Junqueira, Morabito & Yamashita, 2012), (Bortfeldt & Wäscher, 2013), (Álvarez-Martínez *et al.*, 2015), y actualmente se cuenta con software comercial capaz de calcular soluciones factibles (Esko, 2016), (Easy Cargo, 2016), (TOPS Software Corporation, 2016). En este artículo se presenta la validación del desempeño de la herramienta de optimización *GrassPacking v1.0.* Esta última es un prototipo software desarrollado como parte de un proyecto de investigación liderado por los autores de este artículo. Para la validación se definió una metodología, de tres etapas: (1) selección de datos de prueba, (2) cálculo de la solución utilizando las herramientas de optimización GrasPacking v1.0 que codifica un algoritmo GRASP - *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* - (Feo & Resende, 1989) y Cape Pack que codifica un algoritmo de construcción de columnas (Cape

[1] Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, gacamacho@lasalle.edu.co
[2] Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, d.alvarezm@uniandes.edu.co
[3] Universidad de La Salle, Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia, danielhcuellar95@unisalle.edu.co

ISBN: 978-958-5430-49-5

Pack, 2012), (3) validación de desempeño mediante comparación, haciendo énfasis en el porcentaje de utilización y tiempo computacional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Restricciones del sistema

Bortfeldt & Wäscher (2013) definen cinco categorías de restricciones para el problema MBSBPP: el contenedor, los ítems a empacar, la carga, el posicionamiento y el patrón de carga. Las restricciones consideradas obedecen al requerimiento logístico, en especial se debe garantizar: las orientaciones permitidas para cada caja, los límites máximos de apilamiento tanto para las cajas como las estibas y vehículos, y la estabilidad estática de la carga exigiendo un apoyo de base completo para cada caja.

2.2. Algoritmo de solución

En este trabajo se propone una heurística de empaquetamiento que utiliza como subrutina el algoritmo GRASP propuesto por Álvarez-Martínez *et al.* (2015). La metodología consiste en dividir el problema en dos fases: (1) empacar cajas en un grupo de estibas, (2) cargar estibas en vehículos. El Algoritmo 1, resume la estrategia para resolver la fase uno del problema. Este algoritmo utiliza una lista *P* de cajas a empacar, lista *E* de estibas disponibles y lista *V* de vehículos disponibles. Adicionalmente, recibe la bandera *LoadingPalletsFlag* la cual permite habilitar la sección de código que resuelve la fase dos del problema.

Algoritmo 1. Heurística de Estibado - DPPP

```
                Procedure DistPalletPacking(Lista P; Lista E; Lista V; Boolean LoadingPalletsFlag)
                Lista Estibadas ← Ø
1               Lista DisposiciónEstibas ← Ø
2
3               while P ≠ Ø or E ≠ Ø do
4                 e ← seleccioneEstiba(E)
5                 Estibadas ← Estibadas ∪ algoritmoGRASP(P, e)
6                 actualiceListas(P, E, Estibadas, e)
7               end while
8               if P ≠ Ø then
9                 display "La carga excede la capacidad de estibas"
10              else
11                if LoadingPalletsFlag = true then
12                  V_MaxEstiba ← max_i(Estibadas[i].volumen)
13                  DisposiciónEstibas← MultipleBinSizeBinPacking(
                    Estibadas, V, V_MaxEstiba)
14                  display DisposiciónEstibas
15                end if
16              end if
17                display Estibadas
                end
```

Inicialmente, la lista de estibas cargadas de mercancía Estibadas es inicializada en vacío. Así mismo, la lista de vehículos cargados con estibas *DisposiciónEstibas* es inicializada en vacío. En la línea cuatro (4) del algoritmo se realiza una selección arbitraria de una estiba *e*. En la línea cinco (5) se invoca al algoritmo GRASP, entregando como entradas la lista *P* y la estiba *e*. El algoritmo GRASP retorna una estructura con la información de la estiba que acaba de ser cargada (porcentaje de volumen ocupado y área ocupada) y descriptores de las cajas que fueron asignadas en dicha estiba (identificador, dimensiones y posición dentro de la estiba). Dicha estructura es adicionada a la lista Estibadas. En la línea seis (6) se realiza una actualización de las listas *P* y *E*, a partir de la información contendida en Estibadas y *e*. El proceso entre las líneas cuatro (4) y seis (6) es repetido siempre que la lista de cajas sea diferente de vacío o la lista de estibas sea diferente de vacío. La línea ocho (8) valida si la totalidad de las piezas ha logrado ser empacadas, si esto no se cumple se despliega un mensaje indicando que la carga excede la capacidad de las estibas, como se indica en la línea nueve (9). Así mismo, si la bandera *LoadingPalletsFlag* se encuentra habilitada, entonces, se invoca a la heurística encargada de resolver la fase dos (2) (el problema MBSBPP). Finalmente, se despliega un reporte

ISBN: 978-958-5430-49-5

con la siguiente información por cada estiba: porcentaje de volumen utilizado, área utilizada, lista de cajas en la estiba, disposición de las cajas en la estibas.

Algoritmo 2. Heurística de carga de estibas en vehículos - MBSBPP

Function MultipleBinSizeBinPacking(**Lista** *E*; **Lista** *V*; **Double** $V_{Max}Estiba$) **Lista** *Solución*

1 $CmaxEV$ [i] ← $\left\lfloor \frac{V[i].\text{volumen}}{V_{Max}Estiba} \right\rfloor$; *i=1,2,…, size(V)*

2 **while** $P \neq \emptyset$ **or** $V \neq \emptyset$ **do**

3 $ve = \boldsymbol{arg_i min}\ (|CmaxEV\ [\text{i}]\ -\ size(E)|)$

5 *Solución* ← *Solución* ∪ algoritmoGRASP(*E*, *V*[*ve*])

6 actualiceListas(*E*, *V*, *Solución*, *ve*)

7 **end while**

8 **if** $P \neq \emptyset$ **then**

9 **display** "carga excede capacidad de los vehículos"

10 **return** { Ø }

11 **else**

12 **return** *Solución*

13 **end if**

end

En el Algoritmo 2, se documenta la estrategia para encontrar la disposición eficiente de las estibas construidas en la fase uno (1), dentro de los vehículos disponibles mediante la función $MultipleBinSizeBinPacking$. La función recibe la las estibas en una lista con el nombre E, la lista V de vehículos disponibles y el máximo volumen de estiba alcanzado en la fase uno (1) ($V_{Max}\ Estiba$). Inicialmente, se calcula la cantidad máxima de estibas por cada vehículo $CmaxEV$, como se indica en la línea uno (1). Posteriormente, en la línea tres (3) se selecciona el vehículo ve, el cual corresponde al vehículo con capacidad "más adecuada" para la cantidad de estibas aún por cargar. En el siguiente paso, se invoca al algoritmo GRASP, enviando la lista de estibas E (que aún no han sido empacadas) y el vehículo seleccionado $V[ve]$. Este algoritmo retorna una estructura con información de ocupación del vehículo que acaba de ser cargado, además de los descriptores y disposición de las estibas que fueron asignadas al vehículo. Dicha estructura es adicionada a la lista $Solución$. En el siguiente paso (6) se actualizan las listas E y V con base en la información cargada en *Solución* y vehículo utilizado *ve*. Los pasos tres (3) al seis (6) son repetidos siempre que la lista de estibas a cargar E sea diferente de vacío o la lista de vehículos a utilizar sea diferente de vacío.

3. METODOLOGÍA

Con el propósito de validar el desempeño de la herramienta *GrasPacking v1.0* se aplicó una metodología basada en tres etapas: (1) selección de datos de prueba, (2) cálculo de la solución utilizando *GrasPacking v1.0* y Cape Pack, (3) validación del desempeño mediante comparación. La validación se realizó sobre las propiedades calidad y tiempo de cómputo de la solución.

3.1. Selección de datos de prueba

La evaluación del algoritmo se realizó sobre dos conjuntos de datos de prueba: laboratorio y caso industrial. A continuación se describen los datos.

Conjunto de datos de laboratorio. Con el fin de validar calidad, estabilidad estática y automatizar la tarea de empaquetamiento a través del uso de un robot industrial, se construyó un set de cajas y estibas: un total de 44 cajas con 42 tamaños diferentes, el material de las cajas es madera y su peso está en el rango [10.4 -71.2] gramos, de igual manera se construyeron 10 estibas homogéneas de tamaño 250 x 300 cm (escala 1:4 de la estiba 1000 x 1200 ISO Standard 6780). El propósito en este caso es empacar en estibas un grupo de cajas, maximizando el porcentaje de utilización de la estiba y minimizando el número de estibas.

Conjunto de datos del caso industrial. Con el propósito de evaluar la calidad de las soluciones calculadas por el algoritmo propuesto y su complejidad computacional, se seleccionó el requerimiento de una empresa de

ISBN: 978-958-5430-49-5

carga localizada en la ciudad Bogotá: se solicita empacar mercancía, primero en estibas y luego cargara las estibas en vehículos para el transporte. Se busca maximizar el porcentaje de utilización de cada estiba, con el fin de minimizar el número de estibas utilizadas. Así mismo, se busca obtener la mayor ocupación de los vehículos, una vez empacada la carga. La empresa requiere el empaquetamiento de 2235 cajas resumidas en 165 tipos de cajas diferentes. La Tabla 1 presenta la disponibilidad de vehículos para transportar la carga. Finalmente, la empresa tiene un número ilimitado de estibas, pero condiciona el tamaño de estas a dos escenarios: (a) estiba con dimisiones 120cmx100cmx165cm, (b) estiba con dimensiones 120cmx100cmx120cm, en largo, ancho y alto respectivamente. El condicionamiento de los escenarios obedece a las restricciones de maniobrabilidad del montacargas.

Tabla 2. Dimensión de los vehículos

VEHÍCULO	DIMENSIONES INTERNAS (CM)			CARGA MÁXIMA (KG)
	LARGO	ANCHO	ALTO	
Cam1	190	150	180	1000
Cam2	300	170	170	2500
Turbo	450	220	220	4500
Sencillo	650	240	240	9000
Dobletroque	850	240	240	17000
Patineta	1200	240	270	17000
Mula Furgonada	1200	250	265	31600
Mula Carpada	1200	250	250	31600
Tractomula	1200	230	220	33500

3.2. Cálculo de la solución

GrasPacking v1.0. Los algoritmos 1 y 2 fueron codificados en lenguaje C++ y se adicionaron rutinas que permitieran: (1) visualizar la solución en una imagen 3D y (2) calcular indicadores asociados al desempeño de la solución entregada: volumen ocupado y tiempo de cómputo de la solución. En su versión actual (GrasPacking v1.0), el prototipo de software recibe información descriptiva de los objetos a empacar a través de un archivo de texto. La solución calculada es almacenada en archivo de texto de salida, con un formato específico.

Cape Pack, esta es una herramienta de optimización desarrollada por la empresa ESKO (Esko, 2016). El software recibe información descriptiva de las cajas a través de una base de datos acoplada a Microsoft Access (TM). Internamente se aplica el algoritmo de construcción de columnas para encontrar el mejor patrón de empaquetamiento (Cape Pack, 2012). La herramienta permite calcular indicadores de desempeño de solución (porcentaje de utilización, área utilizada y peso de la carga) y presenta el patrón de empaquetamiento mediante gráficos en tres dimensiones, la versión utilizada fue 16.0.2.

Las dos herramientas descritas fueron instaladas y ejecutadas en una máquina con procesador *Intel Core(TM i5-3337U CPU 1.80GHz, memoria RAM de 8GB y sistema operativo Windows 10, 64-bit.*

3.3. Validación de desempeño

La validación de calidad y el tiempo de cómputo de la solución se realizó mediante comparación entre el GrasPacking v1.0 y Cape Pack ®. El indicador de calidad de solución utilizado fue el porcentaje de utilización calculado mediante Ecuación 1.

ISBN: 978-958-5430-49-5

$$PU = \frac{\sum_{i=1}^{n} Vc_i * 100}{VC} \qquad (1)$$

Donde:

PU = Porcentaje de utilización

Vci = Volumen de la caja *i* empacada ∀ *i* = 1,..., n

VC = Volumen total del contenedor

La estabilidad estática de los patrones de empaquetamiento se reprodujo en el laboratorio mediante el uso de un robot industrial. Este método permite evaluar si los algoritmos de empaquetamiento utilizados garantizan estabilidad estática o no. Para esto fue necesario implementar el proceso en una celda de empaquetamiento automática. La celda se compone de un robot industrial de seis grados de libertad, un sistema de agarre por ventosa y un módulo software. El módulo software se encarga de traducir la solución calculada por *GrasPacking v1.0* a un lenguaje interpretable por el robot que realiza la tarea de empaquetamiento. Detalles de este desarrollo pueden ser consultados en (Camacho-Muñoz, Álvarez-Martínez & Velasco 2016) y (Camacho-Muñoz, Álvarez-Martínez & Rodríguez 2016). La medición de este indicador se realizó únicamente sobre el conjunto de datos de laboratorio.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Datos de laboratorio

Los resultados con datos de laboratorio se resumen en la tabla 2, estos permiten concluir la superioridad de *GrasPacking v1.0* respecto al porcentaje de utilización alcanzado. Específicamente, se concluye una mejora asociada con *GrasPacking* del 18,07%. Esta superioridad permite empacar la carga en un menor número de estibas. *De* otro lado, se concluye una ventaja de *GrasPacking v1.0* en el tiempo de cómputo, siendo que esta herramienta tarda 9.7 veces menos tiempo que Cape Pack para el cálculo de la solución. Cabe resaltar que ambas metodologías de solución utilizadas en este estudio superaron la fase de validación de la restricción de estabilidad estática. La ejecución de una de las pruebas realizadas puede ser consultada en un video en línea al pie de página[4].

4.2. Datos del caso industrial

4.2.1. Fase 1

En esta fase se busca empacar un grupo de cajas en estibas, considerando dos escenarios: (a) altura máxima de estiba 165cm, (b) altura máxima de estiba 120cm. Los resultados de comparación se resumen en la Tabla 3. Al comparar el porcentaje *de* utilización en escenario (a) se concluye una mejora asociada con *GrasPacking v1.0* del 10,16%, esta mejora se traduce en la utilización de tres estibas menos para empacar la carga. Los comportamientos descritos se conservan en el escenario (b), en donde, al comparar el porcentaje de utilización se concluye una mejora asociada con *GrasPacking v1.0* del 10,07%; esta mejora provoca el uso de cuatro estibas menos para empacar la carga.

Tabla 2. Resultados caso de laboratorio

	Cape Pack	**GrasPacking v1.0**
Utilización (%)	54	72,07
Número de estibas	4	**3**
Tiempo de cómputo (seg)	24,57	2,54

[4] Video estabilidad de la solución: https://www.youtube.com/watch?v=0sCgN2_QfVQ

ISBN: 978-958-5430-49-5

Tabla 3. Resultados aplicación real, Fase-1

	Cape Pack		GrasPacking v1.0	
Escenario	**(a)**	**(b)**	**(a)**	**(b)**
Utilización (%)	80,6	80,61	90,76	90,69
Número de estibas	27	36	**24**	**32**
Tiempo de cómputo (seg)	200	285	490	313

Tabla 4. Aplicación real, Fase-2 (escenario A)

	Cape Pack		GrasPacking v1.0	
	Doble Troque	**Sencillo**	**Doble Troque**	**Turbo**
Utilización (%)	62,7	54,3	78,5	35,1
Tiempo de cómputo (seg)	1,0	1	24	1
Desperdicio Cúbico (m^3)	18,3	17,1	10,5	14,14
Desperdicio Cúbico Total (m^3)	35,40		**24,64**	

4.2.2. Fase 2

En esta fase se deben cargar las estibas en los vehículos disponibles, se busca obtener la mayor ocupación de los vehículos. Los resultados se resumen en las Tabla 4, 5. La Tabla 4 agrupa los resultados asociados al escenario de estiba tipo (A). En ella se identifica superioridad del *GrasPacking v1.0*, al realizar el empaquetamiento completo de la carga y reducir el volumen desperdiciado en 10,76m3 con respecto a la solución generada por Cape Pack. La Tabla 4 también presenta los tiempos de cómputo, destacando que en general Cape Pack tiene menores tiempos de cómputo de la solución. En la Tabla 5 se presentan resultados, considerando el escenario de estibas (B). En ella se identifica superioridad del *GrasPacking v1.0*, al realizar el empaquetamiento completo de la carga en un único vehículo, generando un volumen desperdiciado de 3,2 m3. De otro lado la solución generada por Cape Pack utilizó dos vehículos para el empaquetamiento completo de la carga, generando un volumen de desperdicio de 35,8 m^3.

Tabla 5. Aplicación real, Fase-2 (escenario B)

	Cape Pack		GrasPacking v1.0
	Doble Troque	**Sencillo**	**Doble Troque**
Utilización (%)	78,7	32,3	93,5
Tiempo de cómputo (seg)	2	1	98
Desperdicio Cúbico (m^3)	10,4	25,3	3,2
Desperdicio Cúbico Total (m^3)	35,8		**3,2**

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos con los datos de laboratorio y los datos del caso industrial, se puede concluir que *GrasPacking v1.0* presenta un buen desempeño tanto en la construcción de estibas como en la carga de estas en vehículos. Además de esto, si se compara contra software comercial de gran reputación se nota que el desempeño es adecuado y los tiempos de cómputo requeridos son razonables. La velocidad de cómputo de la heurística propuesta puede ser mejorada con nuevas implementaciones del algoritmo fundamentadas en paralelización o uso de múltiples hilos.

Finalmente, se concluye que el algoritmo propuesto calcula soluciones garantizado la estabilidad estática de la carga. Como trabajos futuros se propone validar el desempeño del *GrasPacking v1.0* contrastando con resultados reportados en la literatura del DPPP donde se considere la estabilidad dinámica de la carga.

ISBN: 978-958-5430-49-5

LISTA DE REFERENCIAS

Álvarez-Martínez, D., R. Álvarez-Valdés & Parreño, F. (2015). A GRASP Algorithm for the Container Loading Problem with Multi-Drop Constraints. *Pesquisa Operacional, 35*(1), 1-24.

Ballew, B. P. (2000). *The Distributor's Three-Dimensional Pallet-Packing Problem : A Mathematical Formulation and Heuristic Solution Approach*. edited by Department of Air Force. Air University.

Bortfeldt, Andreas and Gerhard Wäscher. 2013. "Constraints in Container Loading – A State-of-the-Art Review." European Journal of Operational Research 229(1):1–20.

Camacho-Muñoz, G. A., Álvarez-Martínez, D. & Rodríguez, C. (2016). Direct Kinematic Model of the HP20D Manipulator. (pp. 1–7) *Proceedings of the 5th Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización*, Bucaramanga, Colombia.

Camacho-Muñoz, G., Álvarez-Martinez, D. & Velasco, P. (2016). *Two Dimensional Knapsack Problem Using Industrial Robots*. (pp. 124–130) in *International Conference on Engineering Optimization,* edited by COPPE/UFRJ, Brasil.

Cape Pack (2012). *Cape Pack User Manual*.

Easy Cargo (2016). Easy Cargo. Recuperado desde: http://www.easycargo3d.com/es/

Esko (2016). Cape Pack. Recuperado desde: https://www.esko.com/en/products/overview/cape-pack/overview/

Feo, T. A. & Resende, M. (1989). A Probabilistic Heuristic for a Computationally Difficult Set Covering Problem. *Operations Research Letters, 8*(2), 67–71.

Friesen, D. K. & Langston, M. A. (1986). Variable Sized Bin. *SIAM Journal on Computing, 15*(1), 222–230.

Junqueira, L., Morabito, R. & Yamashita, D. (2012). Three-Dimensional Container Loading Models with Cargo Stability and Load Bearing Constraints. *Computers and Operations Research, 39*(1), 74–85.

TOPS Software Corporation. (2016). TOPS Software Solution for Packaging and Distribution. Recuperado desde: http://www.topseng.com/MaxLoad_Cargo_Load_Planning_Software_Overview.html

Autorización y exención de responsabilidad

Authors authorize IOCA to publish the paper in the congress proceedings. Neither IOCA nor the editors are e either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

ISBN: 978-958-5430-49-5