



Nuevas tendencias en
**Investigación de Operaciones
y Ciencias Administrativas**

Alexander de Jesús Pulido-Rojano
Paola Andrea Sánchez-Sánchez
Enrique Melamed-Varela

Nuevas tendencias en
**Investigación de Operaciones
y Ciencias Administrativas**

NUEVAS TENDENCIAS EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS.

UN ENFOQUE DESDE ESTUDIOS IBEROAMERICANOS

© Manuel Campuzano Hernández • Andrés Carrión García • Rodrigo Barbosa Correa • Martha-Selene Casas-Ramírez • José-Fernando Camacho-Vallejo • Neyfe Sablón Cossío • José Antonio Acevedo Suárez • Manuel Pérez Quintana • Ana Julia Acevedo Urquiaga • Pedro Pablo Poveda-Orjuela • J. Carlos García-Díaz • Germán Cañón-Zabala • Paola Andrea Sánchez-Sánchez • José Rafael García-González • Carlos Hernán Fajardo Toro • Alexander de Jesús Pulido-Rojano • Enrique Melamed-Varela • Ronald Prieto Pulido • Orlando Hernández Ariza • Alexis Palacios Arrieta • Annherys Paz Marcano • Carlos Regalao Noriega • Remberto De la Hoz Reyes

Editores: Alexander de Jesús Pulido-Rojano • Paola Andrea Sánchez-Sánchez
Enrique Melamed-Varela

Facultad de Ingenierías & Administración y Negocios

Grupos de Investigación

Grupo Ingebio Caribe

Líder: Alexis Messino Soza

Grupo Estratégico para el Mejoramiento Aplicado (GEMAS)

Líder: Luis Eduardo Ortiz Ospino

Grupo Innovación Tecnológica en Salud

Líder: Rodolfo Vega Llama

Grupo Gestión Organizacional

Líder: Ana Blanco Ariza

Grupo Gestión de la Innovación y el Emprendimiento

Líder: Paola Amar Sepúlveda

Grupo Bio-Organizaciones

Líder: Hernán Saumett España

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: Octubre de 2017

Evaluación de propuesta de obra: Diciembre de 2017

Evaluación de contenidos: Febrero de 2018

Correcciones de autor: Marzo de 2018

Aprobación: Mayo de 2018

Nuevas tendencias en
**Investigación de Operaciones
y Ciencias Administrativas**

Alexander de Jesús Pulido Rojano
Paola Andrea Sánchez Sánchez
Enrique Melamed-Varela

Nuevas tendencias en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericano / editores Alexander D. Pulido-Rojano, Paola Andrea Sánchez-Sánchez, Enrique Melamed-Varela; Manuel Campuzano Hernández [y otros 22] -- Barranquilla: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2018.

241 páginas ; tablas; 17 x 24 cm
ISBN: 978-958-5430-88-4

1. Investigación operacional 2. Administración – Métodos de simulación 3. Cambio organizacional 4. Toma de decisiones (estadística) 5. Métodos de simulación I. Pulido-Rojano, Alexander de Jesús., editor, autor II. Sánchez-Sánchez, Paola Andrea, editora, autora III. Melamed-Varela, Enrique, editor, autor IV. Campuzano-Hernández, Manuel V. Carrión-García, Andrés VI. Barbosa-Correa, Rodrigo VII. Casas-Ramírez, Martha-Selene VIII. Camacho-Vallejo, José-Fernando IX. Sablón-Cossío, Neyfe X. Acevedo-Suárez, José Antonio XI. Pérez-Quintana, Manuel XII. Acevedo-Urquiaga, Ana Julia XIII. Poveda-Orjuela, Pedro Pablo XIV. García-Díaz, J. Carlos XV. Cañón-Zabala, Germán XVI. García-González, José Rafael XVII. Fajardo-Toro, Carlos Hernán XVIII. Prieto-Pulido, Ronald XIX. Hernández-Ariza, Orlando XX. Palacios-Arrieta, Alexis XXI. Paz-Marcano, Annherys XXII. Regalao-Noriega, Carlos XXIII. De la Hoz-Reyes, Remberto prólogo XXIV. Tit. 658.4034 N964 2017 Sistema de Clasificación Decimal Dewey 21ª. edición

Universidad Simón Bolívar – Sistema de Bibliotecas

Impreso en Barranquilla, Colombia. Depósito legal según el Decreto 460 de 1995. El Fondo Editorial Ediciones Universidad Simón Bolívar se adhiere a la filosofía del acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de sus contenidos, bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



©Ediciones Universidad Simón Bolívar

Carrera 54 No. 59-102

<http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/edicionesUSB/>

dptpublicaciones@unisimonbolivar.edu.co

Barranquilla - Cúcuta

Producción Editorial

Editorial Mejoras

Calle 58 No. 70-30

info@editorialmejoras.co

www.editorialmejoras.co

Agosto de 2018

Barranquilla

Made in Colombia

Cómo citar este libro:

Pulido-Rojano, A., Sánchez-Sánchez, P., Melamed-Varela, E., Campuzano Hernández, M., Carrión García, A., Barbosa Correa, R...De la Hoz-Reyes, R. (2018). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Contenido

Prólogo	7
Introducción	11
<i>Capítulo 1</i>	
Diseño óptimo de un esquema de muestreo doble para el gráfico de control C	13
MANUEL CAMPUZANO HERNÁNDEZ ANDRÉS CARRIÓN GARCÍA RODRIGO BARBOSA CORREA	
<i>Capítulo 2</i>	
Considerando preferencias de los clientes en problemas de localización de instalaciones	43
MARTHA-SELENE CASAS-RAMÍREZ JOSÉ-FERNANDO CAMACHO-VALLEJO	
<i>Capítulo 3</i>	
Modelo de planificación colaborativa estratégica en cadenas de suministro. Casos de estudio	75
NEYFE SABLÓN COSSÍO JOSÉ ANTONIO ACEVEDO SUÁREZ MANUEL PÉREZ QUINTANA ANA JULIA ACEVEDO URQUIAGA	
<i>Capítulo 4</i>	
Modelo conceptual y ruta para implementar un sistema de gestión integral QHSE3+ en pymes	115
PEDRO PABLO POVEDA-ORJUELA J. CARLOS GARCÍA-DÍAZ GERMÁN CAÑÓN-ZABALA	

Capítulo 5

Simulación de sistemas de emergencia en salud..... 165

PAOLA ANDREA SÁNCHEZ-SÁNCHEZ
JOSÉ RAFAEL GARCÍA-GONZÁLEZ
CARLOS HERNÁN FAJARDO TORO
ALEXANDER DE JESÚS PULIDO-ROJANO
ENRIQUE MELAMED-VARELA

Capítulo 6

**Gestión del cambio organizacional
como elemento dinamizador en universidades
del Atlántico, Colombia 211**

RONALD PRIETO-PULIDO
ORLANDO HERNÁNDEZ-ARIZA
ALEXIS PALACIOS-ARRIETA
ANNHERYS PAZ-MARCANO
CARLOS REGALAO-NORIEGA
REMBERTO DE LA HOZ-REYES

Conclusiones 241

Prólogo

La investigación de operaciones representa para la administración de la producción el conglomerado de herramientas matemáticas y estadísticas que permiten la aplicación de métodos cuantitativos orientados a la optimización de los recursos con los que dispone el sistema productivo. Por mencionar algunos ejemplos, esta puede darse mediante la maximización de los beneficios, utilidades o rendimientos o mediante la minimización de costos, desperdicios o tiempos ociosos, lo que constituye para las ciencias administrativas y la ingeniería de los sistemas productivos una oportunidad estratégica facilitadora para el sustento de las decisiones referentes a gestionar la productividad de la organización.

La evolución de los métodos cuantitativos data desde sus aplicaciones militares hasta su extrapolación a los sistemas empresariales, hecho que guarda sinergia con el desarrollo de las teorías y enfoques de la administración que se posicionan desde el enfoque clásico orientado a la racionalidad y eficiencia de la gestión, hasta las teorías que hacen relevante la contingencia que implica dimensionar al entorno de negocios, representado por actores y situaciones cambiantes que exigen flexibilidad y conocimiento para el eficiente desempeño de las organizaciones.

En las comunidades académicas y científicas de orden nacional e internacional las diversas temáticas relacionadas con la investigación de operaciones y su aplicación en las ciencias administrativas han sido de sumo interés por parte de los investigadores

vinculados a la actividad científica que representan el diseño de modelos matemáticos, la simulación de escenarios y probabilidades, análisis de casos particulares, buenas prácticas de manufactura, entre otros, que solo son parte del gran universo que representa el ejercicio aplicado de la investigación de operaciones en los sistemas productivos de organizaciones como parte de las ciencias empresariales.

Esta publicación sintetiza construcciones de conocimiento científico resultantes de las experiencias y la praxis científica de diferentes comunidades en Iberoamérica, cuya actividad vincula la ingeniería de los sistemas productivos, así como las decisiones estratégicas desde la administración y gestión de organizaciones, enmarcado en el principio de fortalecimiento de las ciencias de las ingenierías y de la administración y negocios.

En el primer capítulo, se evidencia la práctica aplicada del control estadístico de procesos como extensión cuantitativa para los métodos de gestión de la calidad, desarrollando un despliegue de herramientas matemáticas y estadísticas de relevancia para garantizar el control sobre los efectos que conlleva la operación de los sistemas productivos. Mientras que en el segundo capítulo se vincula la temática localización y ubicación de instalaciones desde la óptica del cliente, mantener una importante oportunidad de valorar en las organizaciones desde su gestión técnica, buscando garantizar su satisfacción total.

Avanzando en la estructura documental de la publicación, el tercer capítulo evoca las experiencias resultantes de casos de estudio realizados desde la gestión de la cadena de suministros bajo un modelo de planificación colaborativa, contribuyendo de esta forma al principio de la construcción colectiva como

oportunidad estratégica de crear valor en los eslabones que conforman la cadena de suministros y el sistema productivo. El cuarto capítulo refiere un significativo aporte por cuanto enfoca su estudio de sistemas de gestión hacia las pequeñas y medianas empresas; ello representa una oportunidad de mejoramiento aplicado en dichas unidades que conforman cerca del 90 % del tejido empresarial en territorios latinoamericanos, ofreciendo un marco de herramientas y principios clave para la gestión de calidad, medioambiente, salud y seguridad en el trabajo bajo los estándares internacionales que normalizan dichos sistemas de gestión.

El quinto capítulo, se circunscribe en el sector salud, propicia los resultados aplicados de un trabajo de simulación de sistemas realizado en instituciones prestadoras del servicio, desplegando actividades y variables que intervienen en diferentes escenarios, permitiendo identificar anticipadamente problemáticas vinculadas y facilitando la planificación de estrategias y actividades que permitan la labor pertinente ante contingencias de emergencia. Finalmente, el sexto capítulo se enmarca en el sector académico desde las universidades como organizaciones, identificando y valorando capacidades requeridas para liderar la gestión del cambio como oportunidad, crear dinamismo percibido en las instituciones de educación superior, sobresaliendo la relevancia que adquiere innovar en la gestión universitaria y la disposición de las directivas a gestionar las nuevas formas de organización en la medida que exista control sobre las condiciones e impactos que se presentan en dichos procesos.

Los resultados de las diferentes investigaciones representan contribuciones y avances en materia de investigación de operaciones y ciencias administrativas; de esta forma la publi-

cación representa una fuente de consulta tanto para conocer experiencias aplicadas en organizaciones desde los estudios matemáticos, estadísticos o de organización, administración y gestión, sea para el aprendizaje e interés en la formación superior o como punto de partida para futuros estudios vinculados con las temáticas relacionadas.

Bienvenido el debate académico y científico con el fin de seguir avanzando en el constructo de conocimientos referentes a la investigación de operaciones y las ciencias administrativas, ofertando a los circuitos nacionales e internacionales una mirada desde la gestión técnica de las organizaciones.

Remberto De la Hoz Reyes

orcid.org/0000-0003-3089-4976

Enrique Melamed-Varela

orcid.org/000-0001-7519-4450

Introducción

La investigación de operaciones (IO) nace durante la Segunda Guerra Mundial como una herramienta para la toma de decisiones acerca de la mejor utilización del material de guerra. Posteriormente, su aplicación fue extendiéndose a áreas como la ingeniería civil y la agricultura, dando gran importancia a la utilización de modelos matemáticos para la identificación de las mejores alternativas de decisión. En la actualidad, la aplicación de la IO es de gran importancia para organizaciones, sistemas económicos, educacionales, entre otros. Esta herramienta centra su atención en simular matemáticamente un sistema, intentando incorporar restricciones que permitan garantizar una solución óptima con un gran ajuste a la realidad.

En este contexto, la IO se puede definir como la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de los sistemas (empresariales, económicos, etcétera), generando alternativas para ser evaluadas y eligiendo la más conveniente.

Por su parte, la base de las ciencias administrativas (CA) se origina durante la Revolución Industrial como una necesidad de las empresas por organizar su trabajo. En esta época se definieron los fundamentos de la teoría científica de las organizaciones que han dado lugar a la administración moderna orientada hacia la eficiencia, la productividad y la aplicación de métodos cuantitativos para asegurar el éxito empresarial. Asimismo, las CA se centran en el estudio objetivo de los sistemas administrativos de

las organizaciones con el propósito de fundamentar y apoyar a la toma de decisiones en manejo de recursos, implementación de procesos y resultados de actividades. Las CA utilizan diversas técnicas de apoyo que permiten conocer el funcionamiento real de una organización con el objetivo de fijar un curso de acción para alcanzar los propósitos organizativos de forma efectiva.

En este sentido, la IO y las CA son pilares fundamentales en tópicos como la ingeniería y la administración de empresas. Esta obra presenta nuevos desarrollos de reconocidos investigadores iberoamericanos en estas áreas. El lector encontrará avances y aplicaciones en temáticas como el control estadístico de la calidad, la localización de instalaciones, las cadenas de suministro, los sistemas de gestión integral, los sistemas en salud y la gestión del cambio organizacional. Estos desarrollos pretenden ser modelos de referencia en la aplicación de las temáticas consideradas en la presente obra.

CAPÍTULO 1

Diseño óptimo de un esquema de muestreo doble para el gráfico de control C

MANUEL CAMPUZANO HERNÁNDEZ¹
ANDRÉS CARRIÓN GARCÍA²
RODRIGO BARBOSA CORREA³

-
- 1 Universidad de Valencia, España.
mjcampuzano@gmail.com
 - 2 Universidad Politécnica de Valencia, España.
acarrion@eio.upv.es
 - 3 Universidad del Norte, Colombia.
rbarbosa@uninorte.edu.co

RESUMEN

En el control estadístico de procesos, la herramienta utilizada para monitorear el número de no conformidades por unidad es el gráfico de Shewhart C, este se basa en el supuesto de que la aparición de no conformidades en las muestras está bien modelada por una distribución de Poisson, y aunque es un gráfico fácil de usar, su capacidad para detectar pequeños cambios es baja, por lo que es necesario tomar muestras grandes, aumentando así los costos relacionados con el muestreo. Por lo anterior se propone la implementación de un esquema de muestreo doble para el gráfico de control C, además de derivar la expresión matemática adecuada para la evaluación exacta del ARL. Para el diseño de este gráfico de control se ha desarrollado un algoritmo genético multiobjetivo en R, dirigido a minimizar el número medio de muestras (ASN) y el riesgo beta, garantizando niveles fijos de riesgo alfa. Con el fin de ejemplificar la aplicación del nuevo DS-C desarrollado y evaluar la influencia de varios parámetros operativos, se realizan ejemplos numéricos y se dan las consideraciones relacionadas. Durante el procedimiento de optimización se han impuesto restricciones en ASN y en el ARL bajo control, variando parámetros de entrada, para finalmente comparar el rendimiento del DS-C con el del gráfico clásico de parámetros fijos FP-C.

Palabras clave: muestreo doble, gráfico de control C, ARL, algoritmos genéticos, frontera de Pareto.

ABSTRACT

In statistical process control, the tool used to monitor the number of nonconformities is the Shewhart C chart. The conventional C chart assumes that the occurrence of nonconformities in samples is well modeled by a Poisson distribution,

and although is easy to use, the ability of the classic C chart to detect small shifts is low, thus is necessary take a big sample, increasing sampling-related costs. This article proposes the implementation of a double sampling scheme for C control chart, furthermore deriving the suitable mathematical expression for exact ARL evaluation. For design of this control chart a multi-objective genetic algorithm has been developed in R, aimed at the minimization of the average sample number (ASN) and beta risk, while warranting fixed levels for alpha risk. To exemplify the application of the developed new DS-C and to evaluate on the influence of several operating parameters, numerical examples are carried out and the related considerations are given. During the optimization procedure constrains have been imposed on the in-control ASN and on the in control ARL, varying some input parameters. Finally, comparing the performance of the DS-C with the classic fixed parameters FP-C chart.

Keywords: double sampling, C charts, ARL, genetic algorithms, Pareto front.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos estadísticos para la administración de la calidad en las organizaciones constituyen una gama de esfuerzos por lograr grandes niveles de productividad; una empresa es un sistema compuesto por gran cantidad de procesos interrelacionados entre sí trabajando juntos por un fin en común. Es estrictamente necesario conocer a fondo un proceso productivo y lograr establecer variables medibles en su desarrollo para poder controlarlo.

El monitoreo de procesos productivos es un área esencial del control estadístico de la calidad; su alcance va desde un

diagnóstico de los procesos hasta la determinación de las causas más certeras que producen las indeseadas no conformidades. Cada día, es mayor la inversión realizada en el desarrollo de estas metodologías de manejo dentro de las empresas, arrojando resultados considerablemente beneficiosos, que procuran la estandarización de los procesos para el establecimiento de un control más eficiente.

La gráfica de control convencional de Shewhart C es la herramienta estadística más utilizada para monitorear el número total de no conformidades en una muestra. Este gráfico se basa en el supuesto que la aparición de no conformidades está bien modelada por una distribución de Poisson. Considere que las muestras con n unidades se toman en una inspección del producto en intervalos de tiempo fijos. En la mayoría de los casos, la muestra para inspección puede ser una sola unidad de producto, aunque esto no es necesariamente siempre así. Como el tamaño muestral se considera constante, el número total de no conformidades se representa en el gráfico. Un punto por fuera de los límites de control preestablecidos se interpreta como una señal fuera de control (Montgomery, 2007).

La capacidad del clásico gráfico C para detectar pequeños cambios es baja, por lo que es necesario tomar muestras grandes, lo que incrementa los costos relacionados con el muestreo. Con el tiempo, se han desarrollado diferentes enfoques y propuestas para mejorar el rendimiento de los clásicos gráficos de control de Shewhart, y la carta de control C no ha sido la excepción. Diferentes modelos de control, incluyendo esquemas de control adaptativos tales como los de Intervalo de Muestreo Variable (VSI), Tamaño de Muestra Variable (VSS), Tamaño de Muestra e Intervalo Variable (VSSI), en el que se permite a todos los

parámetros de la carta de control cambiar de forma adaptativa. Se ha demostrado que estos gráficos de control adaptativo son más eficaces que los gráficos de control de parámetros fijos en la detección de cambios pequeños a moderados en los procesos bajo control.

Los gráficos de control adaptativos para atributos fueron inicialmente propuestos por Vaughan (1992), años más tarde Epprecht & Costa (2001) y Epprecht, Costa & Mendes (2003) desarrollaron y optimizaron el gráfico VSS para los gráficos de control NP y C. Así mismo, Wu & Luo (2004), trabajaron con el fin de optimizar estos gráficos de control adaptativos.

El primer gráfico de control de muestreo doble fue propuesto por Croasdale (1974) para los gráficos de control por variables. En este la información de la primera y la segunda unidad muestral se evalúa por separado, y la decisión se hace solo sobre la base de la segunda muestra. Daudin (1992) propuso un diagrama de control del DS que utiliza la información de ambas muestras en la segunda etapa; este procedimiento ofrece un mejor rendimiento que Croasdales DS, sin aumentar el tamaño de la muestra. Para el diseño de los límites del cuadro de control, Daudins DS se optimiza con respecto a ASS. En lugar de minimizar el tamaño esperado de la muestra, Irianto & Shinozaki (1998) maximizaron la potencia de la carta de control para determinar los límites del gráfico de control. He, Grigoryan & Sigh (2002) y Costa & Claro (2008) han hecho un mayor desarrollo de los gráficos de control de DS para las variables.

Últimamente se han realizado investigaciones para mejorar la eficacia de los gráficos de control por atributos, Wu, Luo & Zhang (2006) desarrollaron un algoritmo para el diseño

óptimo del gráfico de control NP con reducción, El objetivo era maximizar la eficacia del gráfico NP, manteniendo tanto la tasa de falsas alarmas en un nivel especificado y como su simplicidad para la fácil comprensión y operación. El algoritmo de optimización puede aplicarse a una inspección al 100 %, así como a una inspección general del muestreo aleatorio. La efectividad del gráfico se mide por el tiempo promedio hasta que hay una señal fuera de control (ATS) bajo el modo de estado estacionario. Wu & Wang (2007) propusieron un gráfico NP con una función de inspección doble. La primera inspección determina el estado del proceso de acuerdo con el número de unidades no conformes encontradas en una muestra; y la segunda inspección toma una decisión basada en la ubicación de una unidad no conforme particular en la muestra. El esquema de inspección doble hace que el ARL_0 en control sea muy cercano a un valor especificado y con el proceso fuera de control la longitud media de corrida ARL_1 sea bastante pequeña; el gráfico propuesto verifica la ubicación de un elemento no conforme en particular en una muestra. Pérez, Carrión, Jabaloyes & Aparisi (2010) propusieron el gráfico DS-U para mejorar el rendimiento del gráfico u estándar. El gráfico DS-U se basa en el esquema de Daudin (1992) y el enfoque VSS, donde se utilizan algoritmos genéticos para optimizar el gráfico.

Por último, De Araújo, Epprecht & De Magalhaes (2011) propusieron un doble muestreo DS para los gráficos NP; este es otro esquema utilizado para la mejora del rendimiento de los gráficos de control de Shewhart NP, sin incrementar el número promedio de unidades inspeccionadas por unidad de tiempo. Durante la primera etapa, se inspeccionan uno o más artículos de la muestra y, dependiendo de los resultados, se interrumpe el muestreo o se pasa a la segunda etapa, donde se inspeccionan los elementos de muestra restantes. Recientemente, Chong, Khoo & Castagliola

(2014) desarrollaron un gráfico de control sintético de muestreo doble DS NP que comprende dos subgráficos, el DS NP y subgráficos de longitud de corrida conformes (CRL). El gráfico DS NP sintético integra el gráfico DS NP propuesto por De Araújo, Epprecht & De Magalhaes (2011) y el gráfico CRL, ofreciendo una notable mejora en el rendimiento de ARL_1 en comparación con el NP sintético y el DS NP.

El propósito de este capítulo es optimizar un nuevo esquema de muestreo doble para el gráfico DS-C, como una analogía con el plan de muestreo doble. Como se demostrará, este esquema ofrece una mejor eficiencia estadística (en términos de ARL) que los gráficos C clásicos y otras alternativas más sofisticadas, sin un mayor coste de muestreo. Alternativamente, el esquema puede usarse para reducir el coste de muestreo sin reducir la eficiencia estadística.

2. GRÁFICO DE CONTROL C DE PARÁMETROS FIJOS (FP-C)

Un producto no conforme es una unidad producida que no satisface una o más especificaciones para ese producto; cada punto específico en el que una especificación no se satisface produce un defecto o no conformidad (Riquelme, Gatica & Orozco, 2015). En consecuencia, un elemento no conforme contendrá al menos una no conformidad.

El gráfico C es la herramienta estadística más utilizada para monitorear el número total de no conformidades en una unidad de producción seleccionada a partir de una muestra. Este gráfico se basa en el supuesto de que la aparición de no conformidades en las muestras está bien modelada por una distribución de Poisson. Esencialmente, esto requiere que el número de oportunidades o ubicaciones potenciales para las no conformidades

sea infinitamente grande y que la probabilidad de ocurrencia en cualquier ubicación sea pequeña y constante. Además, la unidad de inspección debe ser la misma para cada muestra. Es decir, cada unidad de inspección debe representar siempre un área de oportunidad idéntica para la ocurrencia de no conformidades. Además, podemos contar no conformidades de diferentes tipos en una unidad, siempre y cuando se cumplan las condiciones anteriores para cada una de ellas.

Para construir el gráfico de control C se empieza por tomar k muestras X_1, X_2, \dots, X_k , de n_i unidades cada una, i.e. $X_i = (X_{i1}, \dots, X_{in_i})$. Sea λ el número esperado de no conformidades en cada una de las muestras.

- Para cada muestra se calcula el número λ_{ij} de no conformidades en una unidad X_{ij} , $j = 1, \dots, n_i$
- Si denotamos C_i al número de no conformidades totales en la muestra i -ésima, entonces:

$$c_i = \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{ij} \quad (1)$$

- Por otra parte, si denotamos λ_i al valor esperado de no conformidades en la muestra i -ésima, se tiene que:

$$\lambda_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{ij} \quad (2)$$

Se puede observar que $\lambda_i = \frac{1}{n_i} c_i$, i.e.: $c_i = \lambda_i n_i$.

- Notar además $E[c_i] = E[n_i \lambda_i] = n_i E[\lambda_i] = n_i \lambda$
- Como se mencionó anteriormente, se supone que el número de no conformidades (sucesos poco factibles) en una población grande sigue una distribución de Poisson, esto es que $c_i \approx Po(n_i \lambda)$ y se cumplirá que $c_i \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} N(n_i \lambda, \sqrt{n_i \lambda})$.
- Según el modelo de Shewhart se calculan los límites de control C a continuación:

$$ULC = n_i \lambda + 3\sqrt{n_i \lambda} \quad (3)$$

$$CL = n_i \lambda \quad (4)$$

$$LCL = n_i \lambda - 3\sqrt{n_i \lambda} \quad (5)$$

- Si λ es desconocida, se puede estimar a partir de k muestras tomadas (no inferior a 25) cuando se considera que el proceso está bajo control.

3. GRÁFICO DE CONTROL C DE DOBLE MUESTREO (DS-C)

Supongamos un proceso en el cual el número de no conformidades por muestra sigue una distribución de Poisson, con un promedio histórico de λ_0 , cuando el proceso está en control. Si están presentes causas asignables de variación implicaría que el proceso está llegando a ser de menor calidad, hay un aumento en el número de las no conformidades. Solo se considerará este caso de interés y el gráfico se define sin límite de control inferior.

El gráfico DS-C propuesto utiliza cinco parámetros: el tamaño de la primera submuestra (n_1); el número de aceptación de la primera muestra, correspondiente a un límite de advertencia (WL); el número de rechazo para la primera muestra (UCL_1); el tamaño

de la segunda submuestra (n_2); y el número de aceptación para la segunda etapa (UCL_2).

El siguiente es el procedimiento propuesto:

1. En el momento de la inspección, se extrae una muestra global de tamaño ($n_1 + n_2$) del proceso.
2. Se analiza la primera submuestra de n_1 unidades, buscando las no conformidades. Sea X_1 el número de no conformidades encontradas en esta submuestra. En este caso la decisión depende de x_1 :
 - 2.1. Si $X_1 < WL$, el proceso se considera bajo control y el esquema de control continúa operando. La segunda submuestra no necesita ser analizada.
 - 2.2. Si $X_1 > UCL_1$, se supone que el proceso está fuera de control y debe tomarse una acción correctiva. La segunda submuestra no necesita ser analizada.
3. Si $WL < X_1 < UCL_1$, la segunda submuestra de n_2 unidades se analiza inmediatamente, buscando no conformidades. Sea X_2 el número de no conformidades encontradas en esta submuestra. En este caso la decisión depende de la suma de X_1 y X_2 :
 - 3.1. Si $(X_1 + X_2) < UCL_2$, el proceso se considera en control y el esquema de control continúa operando.
 - 3.2. Si $(X_1 + X_2) > UCL_2$, el proceso se considera fuera de control y una acción correctiva debe ser tomada.
4. En intervalos de muestreo prefijados (cada hora, por ejemplo), regrese a la fase 1 del esquema DS-C y tome una nueva muestra de tamaño ($n_1 + n_2$).

La ubicación de los límites WL, UCL_1 y UCL_2 no puede coincidir con números enteros. Debido a esto las reglas de decisión no consideraron la igualdad. Para el diseño de la carta DS-C es recomendable ubicar estos límites en el punto medio de los dos enteros consecutivos adecuados. La Figura 1 representa el esquema de control gráfico para DS-C y los puntos se trazan de acuerdo con las situaciones A, B, C y D, descritas anteriormente.

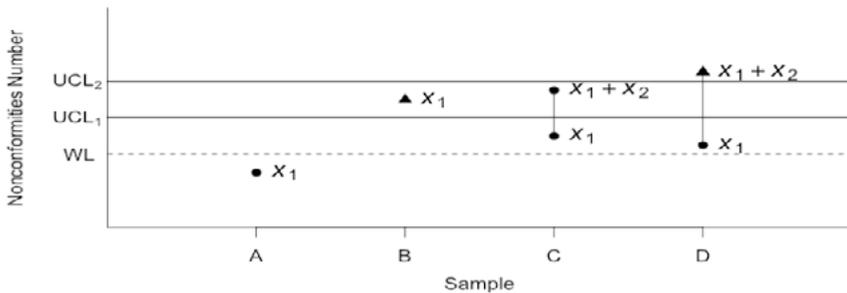


Figura 1
Esquema del gráfico de control DS-C

Fuente: Elaboración propia

3.1 Medidas de desempeño del gráfico de control DS-C

La eficacia de un gráfico de control puede determinarse por su velocidad en la detección de un cambio o perturbación del proceso que aumenta el número medio de no conformidades. Esta velocidad puede ser medida por el ARL. El esquema DS-C tiene como objetivo acelerar la detección de aumentos en el número medio de no conformidades, sin incrementar la tasa de inspecciones o la tasa de falsas alarmas.

Por lo general, el proceso comienza en control $\lambda = \lambda_0$ y en algún momento una causa asignable aumenta el número de no conformidades por unidad a λ_1 . Se asumió para el esquema desarrollado que el proceso comienza bajo control. También se asumió que el aumento de λ no ocurre durante la extracción de una muestra, sino entre tiempos de muestreo. Por último, se supone que las unidades producidas son independientes, y una vez que el proceso está en el estado fuera de control, permanece en esta condición, con ($\lambda = \lambda_1$), hasta que haya una intervención para devolverlo al estado bajo control ($\lambda = \lambda_0$).

Cuando un proceso está bajo control, las falsas alarmas deben ser tan pocas como sea posible para asegurar la credibilidad del gráfico de control. La tasa de falsas alarmas se calcula con la longitud de ejecución promedio (ARL_0). El ARL_0 es el valor medio del número de muestras tomadas antes de que aparezca una señal fuera de control. La deducción es simple, y está dada por:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (6)$$

Donde α es la probabilidad de falsa alarma, y está dada por:

$$\alpha = 1 - P(x_1 < WL \mid \lambda = \lambda_0) \quad (7)$$

$$+ \sum_{i=[WL]+1}^{[ULC]-1} P(x_1 = i \mid \lambda = \lambda_0) * P(x_2 < ULC_2 - i \mid \lambda = \lambda_0)$$

Donde:

$$P(x_1) = \frac{e^{-\lambda_0 n_1} * (\lambda_0 n_1)^{x_1}}{x_1!} \quad (8)$$

$$P(x_1) = \frac{e^{-\lambda_0 n_2} * (\lambda_0 n_2)^{x_2}}{x_2!} \quad (9)$$

Por el contrario, cuando un proceso está fuera de control, el número medio de muestras tomadas hasta encontrar una señal fuera de control debe ser pequeño para proporcionar una detección rápida del cambio de proceso. Este número medio se denomina ARL_1 y bajo la suposición de que el aumento de λ no se produce durante la extracción de una muestra se tiene la siguiente expresión:

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad (10)$$

Donde $(1-\beta)$ es la probabilidad de detectar un corrimiento específico. Este valor se conoce como potencia de prueba y se puede obtener mediante:

$$\beta = P(x_1 < WL \mid \lambda = \lambda_1) \quad (11)$$

$$+ \sum_{i=[WL]+1}^{[UCL]-1} P(x_1 = i \mid \lambda = \lambda_1) * P(x_2 < UCL_2 - i \mid \lambda = \lambda_1)$$

Donde: $P(x_1) = \frac{e^{-\lambda_1 n_1} * (\lambda_1 n_1)^{x_1}}{x_1!} \quad (12)$

$$P(x_1) = \frac{e^{-\lambda_1 n_2} * (\lambda_1 n_2)^{x_2}}{x_2!} \quad (13)$$

El tamaño medio de la muestra (ASS) del gráfico DS-C es una función del número real de no conformidades por muestra λ , y está dado por:

$$ASS = n_1 + n_2 * [P(WL < x_1 < UCL_1 | \lambda = \lambda_0)] \quad (14)$$

Donde $[P(WL < x_1 < UCL_1 | \lambda = \lambda_0)]$ es la probabilidad de analizar la segunda muestra.

3.2 Diseño óptimo del gráfico de control DS-C

Optimizar el rendimiento del gráfico de control DS-C es equivalente a encontrar el conjunto de parámetros de diseño que garantizan que en la operación las probabilidades de riesgo de tipo *I* y *II* ($\alpha; \beta$) son lo más cercanas posible a los niveles objetivo ($\alpha^*; \beta^*$) establecido por el operador del proceso. Simultáneamente, los costos de inspección se controlan a través de la minimización del ASS.

Este problema de optimización puede considerarse como un problema biobjetivo en el que:

Dado ($\alpha^*; \beta^*; N; \lambda_0; \lambda_1$), es deseable encontrar los valores de los parámetros ($n_1; n_2; WL; UCL_1; UCL_2$) que minimizan:

$$\min: Z_1 = [(\alpha - \alpha^*)^2 + (\beta - \beta^*)^2] \quad (15)$$

$$\min: Z_2 = ASS \quad (16)$$

Sujeto a las siguientes restricciones en sus parámetros:

$$WL \geq 0,5 \quad (17)$$

$$UCL_1 - WL \geq 1 \quad (18)$$

$$UCL_2 - UCL_1 \geq 0 \quad (19)$$

Las restricciones anteriores son necesarias para garantizar el funcionamiento del gráfico de control y sus reglas de decisión.

Además, el operador puede localizar un conjunto de restricciones que limitan el rango de búsqueda de los tamaños de muestra (n_1 ; n_2) y su valor medio (ASS), adaptándolos a las condiciones específicas del proceso, tales como las limitaciones de la conformación de la muestra y los costos de muestreo.

$$n_{1.min} \leq n_1 \leq n_{1.max} \quad (20)$$

$$n_{2.min} \leq n_2 \leq n_{2.max} \quad (21)$$

$$ASS \leq N \quad (22)$$

Hoy en día existen diferentes alternativas para resolver problemas multiobjetivos. Varios métodos han sido estudiados por autores como Fonseca & Fleming (1998); De Toro, Ortega, Fernández & Díaz (2002); Konak, Coit & Smith (2006). Métodos como el uso de ponderación multiobjetivo o una función de utilidad puede reducir el problema multiobjetivo a una optimización escalar, pero implican la selección de la preferencia entre los objetivos. Con el fin de ofrecer alternativas atractivas para el DS-C, se aplica en este estudio el enfoque del frente de Pareto, que comúnmente se utiliza para resolver la optimización multiobjetivo con conflictos entre las funciones objetivos. El frente de Pareto es un conjunto de soluciones para el caso multiobjetivo, utilizado donde la mejora de una de las funciones requiere algún sacrificio en otros objetivos, manteniendo al mismo tiempo la solución óptima global.

De las ecuaciones (7 a 14) se puede deducir que la expresión matemática de los riesgos y ASS no corresponden a funciones lineales, por lo que el uso de herramientas de resolución analítica y exacta puede ser una tarea muy difícil. En las últimas décadas ha sido frecuente el uso del algoritmo genético para obtener una solución para este tipo de problemas.

Los algoritmos genéticos introducidos e investigados por Holland (1992) son una familia de modelos computacionales inspirados en la evolución. Estos algoritmos codifican una solución potencial a un problema específico en un cromosoma simple como la estructura de datos, y aplican operadores de recombinación a estas estructuras de tal manera que preservan información crítica (Whitley, 1994).

En este capítulo se propone la implementación de un algoritmo genético para la búsqueda de los parámetros óptimos de diseño. Para su implementación, hemos ajustado las funciones incorporadas en la biblioteca de R Algoritmos de Optimización de Criterios Múltiples y Funciones Relacionadas, MCO. El algoritmo NSGAll desarrollado por Deb, Pratap, Agarwal & Meyarivan (2002) minimiza una función multidimensional para aproximar su frente de Pareto y su conjunto de Pareto.

Teniendo en cuenta que la función objetivo 1 (ecuación 15), permite al profesional definir el rendimiento deseado del gráfico bajo control y fuera de control. Esto es posible mediante la fijación α^* y β^* , lo que es equivalente a definir ARL_0 y ARL_1 como se muestra en las ecuaciones (6) y (10).

Alternativamente, el operador puede estar interesado en obtener el mejor rendimiento de la tabla de control cuando se enfrenta a

un cambio en el proceso, garantizando que bajo control $ARL_0 = ARL_0^*$, donde ARL_0^* corresponde al ARL deseado por el controlador, debiendo definir $\alpha^* = 1/ARL_0^*$ y $\beta^* = 0$.

3.3 Algoritmo genético (NSGA-II)

Normalmente, las metodologías de optimización se concentran en la adecuación de un conjunto de elementos de manera que se mejore el resultado dado por una función objetivo. Sin embargo, los problemas reales involucran otra serie de objetivos que pueden ser de tanto interés como lo que se optimizó, y también ser tan relevantes y conflictivos que harían inviable la solución obtenida. La optimización multiobjetivo basada en técnicas evolutivas es una meta heurística que surgió con el fin de resolver este tipo de problemas, caracterizada por ser capaz de obtener un conjunto de soluciones, con los mejores compromisos entre los objetivos optimizados (frente óptimo de Pareto).

Los algoritmos multiobjetivos requieren para su desarrollo métodos matemáticos de optimización sobre una población de soluciones, por lo que se ha encontrado en los algoritmos genéticos una propuesta firme, dadas sus características de diversidad y confiabilidad.

NSGA (*Non-Dominated Sorting in Genetic Algorithms*) es un popular algoritmo genético basado en la no dominación para la optimización multiobjetivo. Es un algoritmo muy efectivo, pero ha sido ampliamente cuestionado por su complejidad computacional y falta de elitismo. Se desarrolló una versión modificada, por Deb, Pratap, Agarwal & Meyarivan (2002) el NSGA-II, que tiene un mejor algoritmo de clasificación, incorpora el elitismo y ningún parámetro de uso compartido debe ser elegido *a priori*.

NSGA-II es clasificado como de tipo elitista, ya que incorpora un mecanismo de preservación de las soluciones dominantes a través de varias generaciones de un algoritmo genético. El proceso se inicia a partir de un conjunto de tamaño N de soluciones (padres) obtenidas al azar o a través de un constructivo suave. Las siguientes generaciones son determinadas usando mecanismos modificados de selección, cruzamiento y mutación definidos por el algoritmo genético clásico.

3.3.1 Descripción general algoritmo genético (NSGA-II)

La población se inicializa como de costumbre; una vez que es inicializada, se clasifica según la no-dominación en cada frente. El primero es completamente no dominante en la población actual y el segundo frente está dominado por los individuos en el primer frente solamente y va así sucesivamente. A cada individuo en cada frente se les asignan valores de rango (fitness) o se basan en el espacio al que pertenecen. A los individuos en el primer frente se les dan un valor de fitness de 1 y a los individuos en el segundo se le asignan el valor fitness de 2 y así sucesivamente.

Además del valor fitness, se calcula un nuevo parámetro llamado *distancia de aglomeración* para cada individuo; esta es una medida de lo cerca que está un individuo de sus vecinos. Una gran distancia media de aglomeración dará como resultado una mejor diversidad en la población.

Los padres se seleccionan de la población mediante torneos binarios basados en la distancia entre el rango y el hacinamiento. Un individuo es seleccionado si en el rango es menor que el otro o si la distancia de aglomeración es mayor que el otro y se compara solo si el rango para ambos individuos es el mismo. La población seleccionada genera descendientes de los operadores de cruce y

mutación, los cuales serán discutidos en detalle en una sección posterior.

La población y los descendientes actuales se clasifican de nuevo basándose en la no-dominación y solo se seleccionan los mejores N individuos, donde N es el tamaño de la población. La selección se basa en el rango y la distancia de aglomeración en el último frente.

4. COMPARACIÓN DEL GRÁFICO DS-C CON EL GRÁFICO DE CONTROL DE PARÁMETROS FIJOS (FP-C)

Con el fin de comparar el rendimiento del gráfico de control DS-C y la utilidad que su aplicación puede tener en contraste con el uso de un gráfico tradicional de parámetros fijos (FP-C), se evalúa el (ARL_1) de cada esquema.

Para la comparación, el tamaño de la muestra n se considera unitario ($n = 1$) sin pérdida de generalidad (esto corresponde a adoptar el tamaño de la muestra como unidad de inspección y el intervalo de muestreo como unidad de tiempo). Cuando el proceso está bajo control, el número medio de no conformidades será λ_0 .

Debido a su naturaleza discreta, el esquema de parámetro fijo (FP-C) presenta valores limitados para ARL_0 , que dependen del tamaño de la muestra y la ubicación del límite de control superior. En cambio, el esquema DS-C tiene un mayor número de parámetros de diseño y presenta más flexibilidad con respecto a las condiciones ARL_0 que es capaz de cumplir.

Para una comparación correcta entre los diferentes esquemas de control, se requiere que su rendimiento bajo control sea el mismo. Para ello, se encuentra el gráfico de control (FP-C) con

ARL_0 más cercano al ARL_0^{obj} , donde ARL_0^{obj} es una condición deseada para el profesional. Para esta comparación se ha considerado el $ARL_0^{obj} = 370,4$; correspondiente al usual $\alpha = 0,0027$. El valor ARL_0 encontrado para el gráfico de control FP-C ha sido la referencia para el diseño del gráfico de control DS-C. Esta estrategia de comparación fue la misma utilizada por Epprecht *et al.*, (2003), así como los valores considerados para λ_0 y γ^* . Los valores considerados para los parámetros de entrada fueron los siguientes: $\lambda_0 = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0$ y $\gamma = 1,5; 2,0; 3,0$.

La Tabla 1 presenta los parámetros de diseño obtenidos para los dos gráficos de control (FP-C y DS-C), bajo las condiciones, y los correspondientes ARL_0 y ARL_1 . Con el fin de garantizar que la comparación de rendimiento entre el gráfico DS-C y el gráfico FP-C se lleva a cabo bajo condiciones lógicas de producción se han impuesto las mismas restricciones empleadas por Epprecht *et al.*, (2003) en su proceso de optimización para limitar el rango de variación de los tamaños de muestra n_1 y n_2 como se indica en las ecuaciones 20 y 21. Las restricciones para los tamaños de muestra son: $0,2 \leq n_1 \leq 0,8$ y $n_2 \leq 5$. Además, se adiciona una restricción para el tamaño promedio de muestra (eq 22) así: $ASS \leq 1$, por lo que el objetivo de la comparación se centra en evaluar la reducción en ARL_1 .

El indicador $\%ARL_1^{red}$, que se incluye en la columna 11 de la Tabla 1, evalúa el porcentaje de reducción de ARL_1 obtenido cuando se utiliza el gráfico de control DS-C en lugar del gráfico de control FP-C. Este indicador se calcula como en la ecuación 23.

$$\%ARL_1^{red} (Ref, DS-C) = \frac{ARL_1(Ref) - ARL_1(DS-C)}{ARL_1(Ref)} \times 100 \quad (23)$$

Se destaca la flexibilidad del esquema DS-C para adaptarse a un ARL_0 deseado en todas las situaciones evaluadas. Esta flexibilidad es significativamente menor en el caso del gráfico de control FP-C.

También para todos los casos evaluados se observa que el gráfico DS-C presenta una ARL_1 menor que el observado en el esquema de parámetros fijos (FP), con un porcentaje de reducción de ARL_1 que oscila entre (28,76 % y 73,6 %), sin aumentar el costo de la inspección.

Es una práctica común optimizar los parámetros de un gráfico de control para garantizar que se obtiene un mejor rendimiento en la detección de una magnitud de cambio específica en los parámetros del proceso. Sin embargo, en la aplicación práctica, la magnitud de cambio para la que se ha optimizado el gráfico de control es solo uno del conjunto infinito de magnitudes posibles de desplazamientos que el proceso puede presentar.

Por ejemplo, para el caso de controlar el número de no conformidades, el número medio de no conformidades puede tener un cambio de magnitud $\gamma = \gamma^*$ para el que se ha optimizado o puede presentar un cambio de magnitud $\gamma \neq \gamma^*$ en el que no hay garantía de que su rendimiento sea óptimo. A fin de evaluar y comparar el rendimiento de los dos esquemas de control en diferentes puntos de magnitud de cambio, el perfil ARL_1 de los distintos gráficos fue evaluado en diversos puntos de magnitud de cambio y son presentados en la Tabla 1. La columna tres de la Tabla 1 muestra el tamaño promedio de muestra requerido para controlar el proceso, mientras está bajo control.

Tabla 1
Diseño y rendimiento de los parámetros del gráfico de control FP-C y el óptimo equivalente para el gráfico de control DS-C para λ_0 y γ^* dados

$c_0 = \lambda_0$	γ^*	Scheme	n_1	n_2	WL_1	UCL_1	UCL_2	ARL_0	ARL_1	$\%ARL_1^{red}$
0.5	1.5	FP	1	1		3.5	3.5	570.9	137.13	54.10
		DS-C	0.315	4.671	0.5	4.5	7.5	570.9	62.94	
	2.0	FP	1	1		3.5	3.5	570.9	52.66	67.22
		DS-C	0.316	4.666	0.5	4.5	7.5	571.3	17.26	
		FP	1	1		3.5	3.5	570.9	15.23	70.39
		DS-C	0.316	4.666	0.5	4.5	7.5	571.3	4.51	
1	1.5	FP	1	1		4.5	4.5	273.2	53.83	60.02
		DS-C	0.521	4.961	1.5	6.5	11.5	273.3	21.52	
	2.0	FP	1	1		4.5	4.5	273.2	18.99	67.67
		DS-C	0.521	4.961	1.5	6.5	11.5	273.3	6.14	
		FP	1	1		4.5	4.5	273.2	5.41	58.96
		DS-C	0.598	3.355	1.5	7.5	9.5	273.4	2.21	
1.5	1.5	FP	1	1		5.5	5.5	224.42	36.54	61.63
		DS-C	0.408	4.703	1.5	6.5	14.5	224.47	14.02	
	2.0	FP	1	1		5.5	5.5	224.42	11.92	65.27
		DS-C	0.408	4.703	1.5	6.5	14.5	224.64	4.14	
		FP	1	1		5.5	5.5	224.42	2.87	41.46
		DS-C	0.528	2.500	1.5	6.5	10.5	225.56	1.68	
2.0	1.5	FP	1	1		6.5	6.5	220.6	29.84	64.68
		DS-C	0.539	4.817	2.5	8.5	18.5	221.1	10.54	
	2.0	FP	1	1		6.5	6.5	220.6	9.04	64.16
		DS-C	0.555	4.375	2.5	8.5	17.5	220.9	3.24	
		FP	1	1		6.5	6.5	220.6	2.54	44.49
		DS-C	0.663	2.258	2.5	8.5	12.5	222.3	1.41	
3.0	1.5	FP	1	1		8.5	8.5	262.95	24.84	69.52
		DS-C	0.556	4.997	3.5	8.5	26.5	263.23	7.57	
	2.0	FP	1	1		8.5	8.5	262.95	6.55	62.14
		DS-C	0.556	4.997	3.5	8.5	26.5	263.23	2.48	
		FP	1	1		8.5	8.5	262.95	1.84	35.87
		DS-C	0.701	1.838	3.5	11.5	15.5	263.04	1.18	
4.0	1.5	FP	1	1		9.5	9.5	352.14	23.46	73.57
		DS-C	0.452	4.951	3.5	10.5	33.5	353.11	6.20	
	2.0	FP	1	1		9.5	9.5	352.14	5.43	63.35
		DS-C	0.631	3.287	4.5	10.5	26.5	353.1	1.99	
		FP	1	1		9.5	9.5	352.14	1.53	28.76
		DS-C	0.726	1.608	4.5	12.5	18.5	357.25	1.09	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se puede observar que el gráfico de control DS-C se destaca en todo el perfil de ARL_1 , frente al gráfico de control de parámetros fijos FP-C, manteniendo su hegemonía no solo en el punto de optimización, sino a lo largo del perfil de magnitudes de cambio; todo ello sin incrementar los costos de muestreo.

Tabla 2
Tamaño medio de muestra y perfil de ARL₁ ($\gamma = 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0$) para FP-C y el gráfico de control óptimo DS-C

$c_0 = \lambda_0$	γ^*	Scheme	m	ARL_0	$\gamma = \lambda_1/\lambda_0$									
					1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		
0.5		FP	1	570.9	137.13	52.66	26.13	15.23	9.92	7.00	5.25	4.13		
		1.5	DS-C	0.995	570.9	62.94	17.26	7.65	4.51	3.18	2.52	2.14	1.91	
		2.0	DS-C	0.999	571.3	62.94	17.26	7.65	4.51	3.18	2.52	2.14	1.91	
		3.0	DS-C	0.999	571.3	62.94	17.26	7.65	4.51	3.18	2.52	2.14	1.91	
	1		FP	1	273.2	53.83	18.99	9.19	5.41	3.64	2.69	2.14	1.79	
			1.5	DS-C	1	273.3	21.52	6.14	3.22	2.28	1.86	1.63	1.47	1.36
			2.0	DS-C	0.999	273.3	21.52	6.14	3.22	2.28	1.86	1.63	1.47	1.36
			3.0	DS-C	0.999	274.9	25.17	6.97	3.37	2.22	1.73	1.49	1.35	1.26
	1.5		FP	1	224.42	36.54	11.92	5.65	3.37	2.34	1.80	1.50	1.32	
			1.5	DS-C	0.999	224.47	14.02	4.14	2.41	1.85	1.59	1.43	1.31	1.24
			2.0	DS-C	0.999	224.64	14.02	4.14	2.41	1.85	1.59	1.43	1.31	1.24
			3.0	DS-C	0.999	225.56	18.16	4.92	2.45	1.68	1.38	1.23	1.15	1.11
2.0		FP	1	220.6	29.84	9.04	4.20	2.54	1.82	1.46	1.26	1.15		
		1.5	DS-C	0.998	221.1	10.56	3.25	2.02	1.60	1.38	1.24	1.16	1.11	
		2.0	DS-C	0.999	220.9	10.88	3.24	1.97	1.55	1.34	1.22	1.14	1.09	
		3.0	DS-C	0.999	222.3	14.23	3.73	1.94	1.41	1.21	1.12	1.07	1.04	
3.0		FP	1	262.95	24.84	6.55	2.96	1.84	1.39	1.18	1.09	1.04		
		1.5	DS-C	0.998	263.23	7.57	2.48	1.67	1.36	1.20	1.11	1.06	1.03	
		2.0	DS-C	0.998	263.23	7.57	2.48	1.67	1.36	1.20	1.11	1.06	1.03	
		3.0	DS-C	0.999	263.04	11.48	2.79	1.51	1.18	1.08	1.03	1.02	1.01	
4.0		FP	1	352.14	23.46	5.43	2.40	1.53	1.21	1.08	1.03	1.01		
		1.5	DS-C	0.999	353.11	6.20	2.12	1.51	1.27	1.14	1.08	1.04	1.02	
		2.0	DS-C	0.999	353.71	7.21	1.99	1.34	1.15	1.06	1.03	1.01	1.00	
		3.0	DS-C	0.998	357.25	10.52	2.36	1.32	1.09	1.03	1.01	1.00	1.00	

Fuente: Elaboración propia

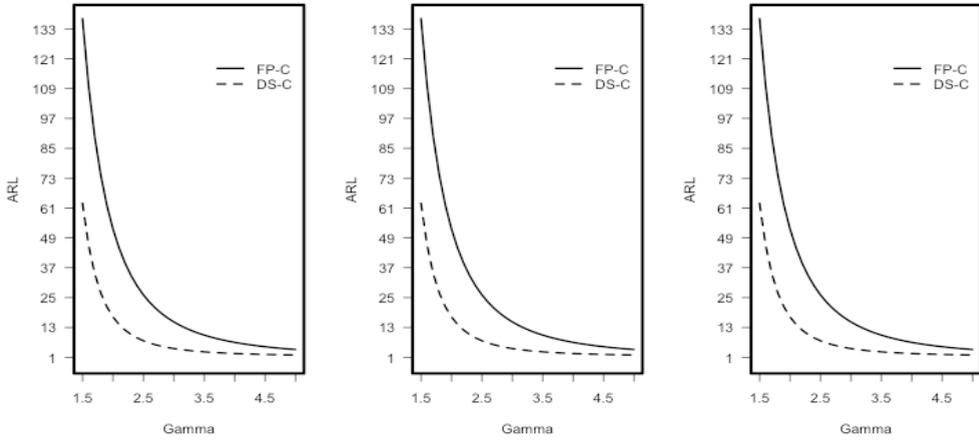


Figura 2
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 0.5$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

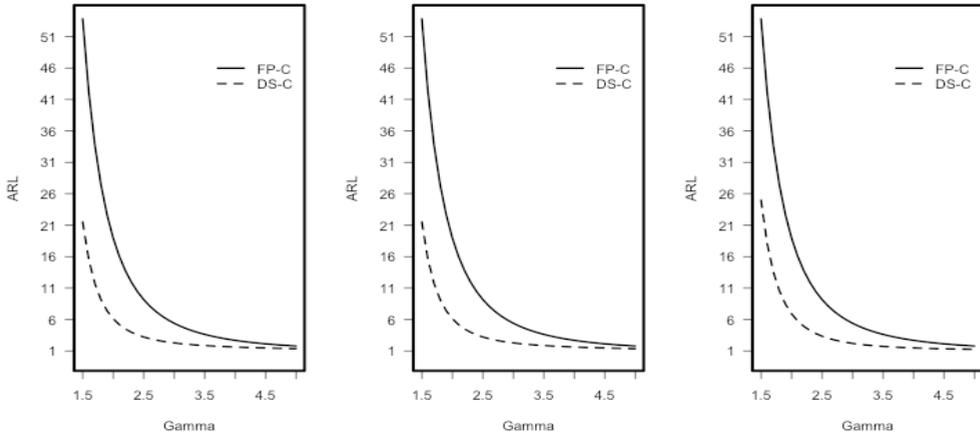


Figura 3
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 1.0$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

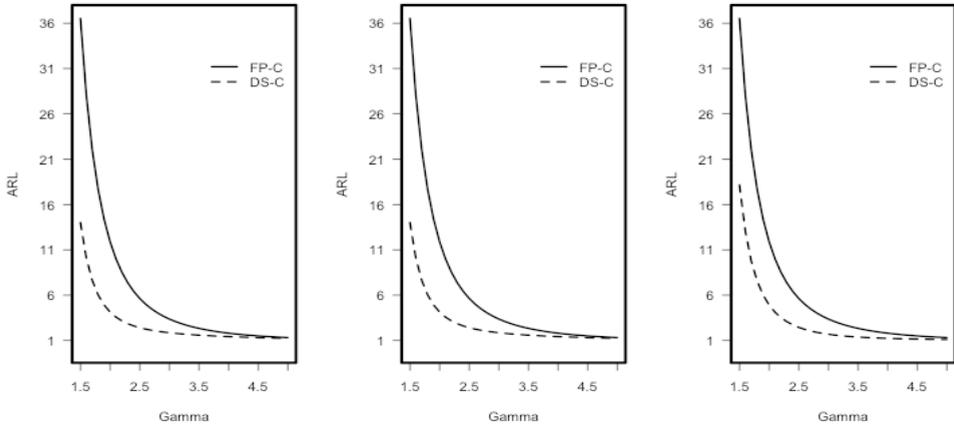


Figura 4
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 1.5$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

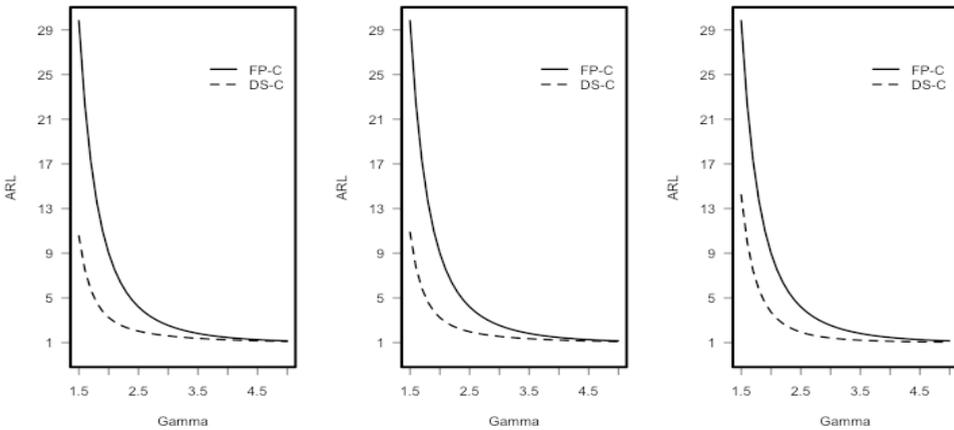


Figura 5
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 2.0$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

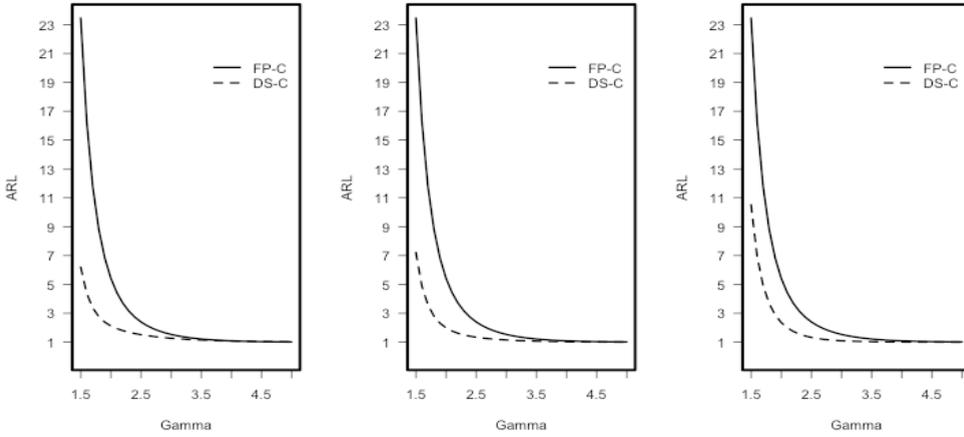


Figura 6
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 3.0$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

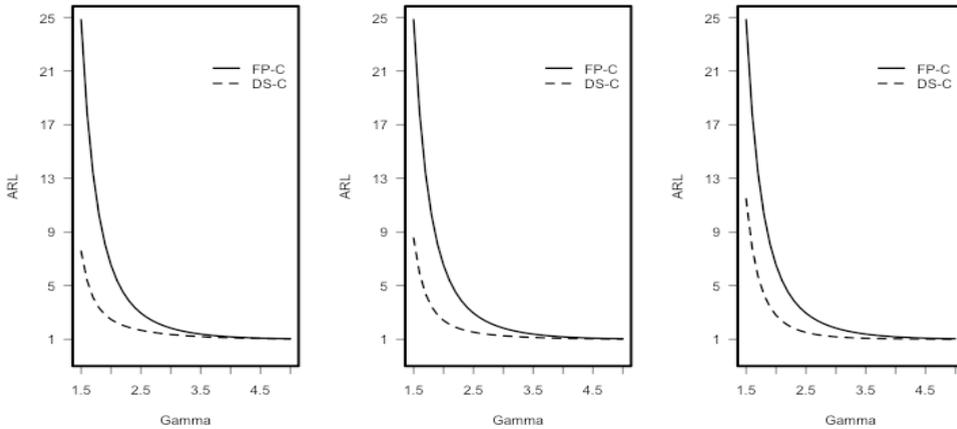


Figura 7
Curvas de ARLs para $\lambda_0 = 4.0$, optimizado para $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$
Fuente: Elaboración propia

Las anteriores figuras representan las curvas del perfil de ARL_1 para los dos esquemas con cada uno de los λ_0 analizados y optimizado para los diferentes valores de γ^* , en dichas curvas se evidencia la superioridad que tiene el gráfico de control DS-C con respecto al gráfico de control FP-C en detectar los pequeños a moderados cambios en el número promedio de no conformidades del proceso a lo largo del perfil de cambios sin importar el punto específico para el cual es optimizado el esquema DS-C.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto una alternativa para la aplicación del gráfico de control C. Consiste en incorporar un esquema doble de muestreo, demostrando que dicho esquema puede detectar cambios en el número promedio de no conformidades del proceso de pequeños a moderados mucho más rápido que los gráficos tradicionales de parámetros fijos (FP-C), sin exigir más inspección o aumentar la tasa de falsas alarmas. Para lograr una velocidad de detección similar a la de un gráfico DS-C, el gráfico de parámetros fijos requieren más inspección y/u ofrecer menos protección contra falsas alarmas.

Se ha desarrollado una propuesta de algoritmo genético multiobjetivo para optimizar el gráfico de control DS-C. Utilizando este enfoque, el profesional puede acceder a diseñar los parámetros del gráfico de control, permitiendo:

1. Tasas de error pre-especificadas tipo uno (1) y tipo dos (2), minimizando los costos de inspección.
2. Minimizar uno de los dos indicadores, ARL_1 o ASS, que cumplan con una tasa de error preestablecida tipo uno (1).

El profesional puede acceder a una de las dos alternativas de optimización prefijando los parámetros del procedimiento correspondiente. La ventaja del esquema DS-C se vuelve más relevante a medida que los requisitos de especificación para el proceso se vuelven más exigentes. Cuantos más altos son los requisitos, más importante es mejorar la sensibilidad del gráfico a pequeños cambios en la calidad del proceso. Debido a los tamaños de muestra típicamente grandes, esta relevancia puede ser todavía más clara en el caso de control por atributos en contraste al caso de control por variables.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chong, Z. L., Khoo, M. B. & Castagliola, P. (2014), Synthetic double sampling NP control chart for attributes. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 157-169.
- Costa, A. F. & Claro, F. A. (2008). Double sampling \bar{X} control chart for a first-order autoregressive moving average process model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(5-6), 521-542.
- Croasdale, R. (1974). Control charts for a double-sampling scheme based on average production run lengths. *International Journal of Production Research*, 12(5), 585-592.
- Daudin, J. (1992). Double sampling \bar{x} charts. *Journal of Quality Technology*, 24(2), 78-87.
- De Araujo, A. A., Epprecht, E. K. & De Magalhaes, M. S. (2011). Double-sampling control charts for attributes. *Journal of Applied Statistics*, 38(1), 87-112.
- De Toro, F., Ortega, J., Fernández, J. & Díaz, A. (2002). Psfga: a parallel genetic algorithm for multiobjective optimization, (384-391). In *Parallel, Distributed and Network-based Processing*, Proceedings 10th Euromicro Workshop on IEEE.

- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ll. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197.
- Epprecht, E. & Costa, A. (2001). Adaptive sample size control charts for attributes. *Quality Engineering*, 13(3), 465-473.
- Epprecht, E. K., Costa, A. F. & Mendes, F. C. (2003). Adaptive control charts for attributes. *IIE Transactions*, 35(6), 567-582.
- Fonseca, C. M. & Fleming, P. J. (1998). Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. I. A unified formulation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 28(1), 26-37.
- He, D., 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.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Massachusetts, USA: MIT Press.
- Irianto, D. & Shinozaki, N. (1998). An optimal double sampling control chart. *International Journal of Industrial Engineering-Applications and Practice*, 5(3), 226-234.
- Konak, A., Coit, D. W. & Smith, A. E. (2006). Multiobjective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(9), 992-1007.
- Montgomery, D. C. (2007). *Introduction to statistical quality control*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Pérez, E., Carrión, A., Jabaloyes, J. & Aparisi, F. (2010). Optimization of the new ds-u control chart: an application of genetic algorithms, (105-109). In *Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Applications of Computer Engineering*.
- Riquelme, P., Gatica, G. & Orozco, E. (2015). Diseño de un modelo de operación para ruteo de transporte urbano basado en simulación discreta. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 3(2), 1-12.

- Vaughan, T. S. (1992). Variable sampling interval NP process control chart. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 22(1), 147-167.
- Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*, 4(2), 65-85.
- Wu, Z. & Luo, H. (2004). Optimal design of the adaptive sample size and sampling interval NP control chart. *Quality and Reliability Engineering International*, 20(6), 553-570.
- Wu, Z., Luo, H. & Zhang, X. (2006). Optimal NP control chart with curtailment. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1723-1741.
- Wu, Z. & Wang, Q. (2007). An NP control chart using double inspections. *Journal of Applied Statistics*, 34(7), 843-855.

Cómo citar este capítulo:

Campuzano Hernández, M., Carrión García, A. & Barbosa Correa, R. (2018). Diseño óptimo de un esquema de muestreo doble para el gráfico de control C. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.13-42). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

CAPÍTULO 2

Considerando preferencias de los clientes en problemas de localización de instalaciones

MARTHA-SELENE CASAS-RAMÍREZ¹
JOSÉ-FERNANDO CAMACHO-VALLEJO²

1 Facultad de ciencias físico-matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
martha.casasrm@uanl.edu.mx

2 Facultad de ciencias físico-matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
jose.camachovl@uanl.edu.mx

RESUMEN

En este capítulo nos enfocamos en los problemas de localización de instalaciones considerando las preferencias que los clientes han establecido sobre estas. Debido a esta situación, es natural modelarlos con programación binivel donde el nivel superior corresponde al localizador, que desea minimizar los costos de localización y distribución; y el nivel inferior está asociado a los clientes, que desean optimizar sus preferencias. Para resolver los problemas, se desarrollaron las reformulaciones clásicas de programación binivel para reducir los modelos a uno solo. Se llevó a cabo experimentación computacional que demostró que el tiempo requerido es considerable y que algunas instancias no son posibles de resolver. Por lo tanto, la justificación de algoritmos heurísticos para la resolución de estos modelos es razonable.

Palabras clave: localización de instalaciones, preferencias de los clientes, programación binivel.

ABSTRACT

In this chapter, we focus in facility location problems that consider customers preferences toward the facilities. Due to this assumption, a natural manner to model them is by using a bilevel programming scheme. Within the bilevel scheme, the upper level is associated with the locator, which aims to minimize the locating and distributing costs; on the other hand, the lower level is associated with the customers, who desire to optimize the allocation based on their own preferences. To solve the bilevel problems herein presented, the classical reformulations for reducing the bilevel problem into a single level one are developed. Computational experimentation is conducted showing that the required time is significant and in some instances, the instances it cannot be solved. Therefore, the use of heuristic algorithms for solving these problems is justified.

Keywords: facility location, customer preferences, bilevel programming.

1. INTRODUCCIÓN

En un problema de localización de instalaciones existe un conjunto de clientes distribuidos en un espacio predefinido que desea que una o más instalaciones satisfagan la demanda de cierto servicio o producto. El problema consiste en ubicar las instalaciones (almacenes, centros de distribución, tiendas comerciales, contenedores de basura, postes de luz, entre otras) de tal manera que se minimicen los costos de instalación y los de distribución. La distribución se asocia a un producto o servicio que dicha instalación va a brindar. Es decir, el costo de atender a un cliente dada la ubicación de la instalación.

Usualmente en los problemas de localización de instalaciones la asignación de los clientes se realiza basándose en la regla de la distancia más corta (menor costo). Es claro que esta regla favorece a la reducción de costos del localizador. Sin embargo, es interesante tener otra regla desde el punto de vista de los clientes.

Otra regla de asignación puede ser basada en la preferencia que tienen dichos clientes sobre las instalaciones. Desde este enfoque, el localizador no puede decidir sobre la asignación de los clientes. Sino que estos mismos deben decidir la forma de elegir a las instalaciones. Esto nos lleva a aplicar enfoques de programación binivel para modelar dichas situaciones.

En el caso de que se conozca el número total de instalaciones por localizar, el problema es llamado p -mediana (Hakimi, 1964). Con base en esta suposición clave, se omiten los costos fijos. Resolver estos problemas no es una tarea fácil; Kariv & Hakimi (1979)

demonstraron que son NP-hard. Por lo tanto, se han desarrollado métodos exactos y heurísticos.

Con la finalidad de ilustrar el impacto de tener en cuenta las preferencias de los clientes, se introduce un ejemplo. Se consideran cinco posibles instalaciones y siete clientes; también, se asume que deben ubicarse dos instalaciones. Los costos correspondientes y las preferencias de los clientes (el orden preestablecido por los clientes hacia las instalaciones) se muestran entre paréntesis en la Figura 1.

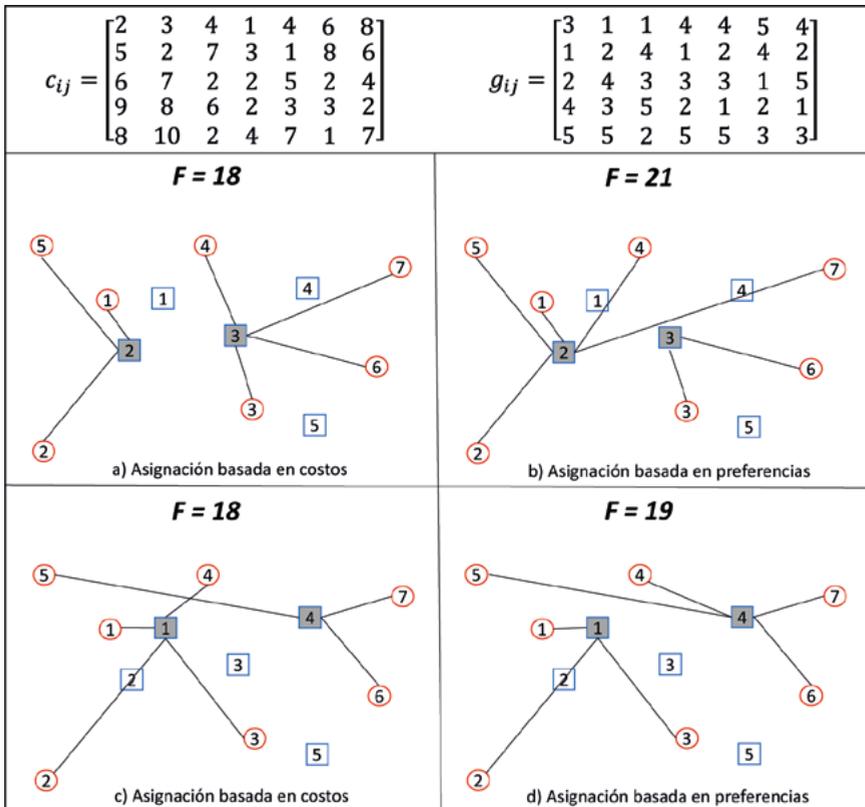


Figura 1
 Ejemplo con $i = \{1, \dots, 5\}$, $j = \{1, \dots, 7\}$ y $p = 2$
 Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, suponga que las instalaciones localizadas son $[2,3]$. Bajo el esquema de la p -mediana, los clientes $[1,2,5]$ se asignan a la instalación 2 y los clientes $[3,4,6,7]$ a la instalación 3. El costo asociado es de 18 (ver Figura 1, ítem a). Entonces, bajo el esquema de la asignación con base en las preferencias, los clientes se asignan con respecto al orden que establecieron (el objetivo es minimizar). En este caso, los clientes $[1,2,4,5,7]$ se asignan a la instalación 2 y los clientes $[3,6]$ a la instalación 3; el costo de este esquema es de 21 (ver figura 1, ítem b). Ahora, considere un par diferente de instalaciones localizadas, esto es, $[1,4]$. En el esquema estándar de la p -mediana, los clientes se asignan en $[1,2,3,4]$ y $[5,6,7]$ para las instalaciones 1 y 4, respectivamente; incurriendo en un costo de 18 (ver Figura 1, ítem c). En el esquema cuando se consideran las preferencias, los clientes $[1,2,3]$ se asignan a la instalación 1 y los clientes $[4,5,6,7]$ a la instalación 4. El costo de esta decisión es 19 (ver Figura 1, ítem d).

Observaciones importantes surgen del ejemplo ilustrativo. Se puede notar que teniendo en cuenta las preferencias de los clientes los costos se ven afectados negativamente, pero permite incluir la opinión de los clientes en el proceso de decisión.

Los primeros en tomar en cuenta las preferencias de los clientes fueron Hanjoul & Peeters (1987). Para considerarlas, se introdujo un conjunto de restricciones en el modelo. El problema es conocido como el Problema Simple de Localización de Plantas con Orden (SPLPO, por sus siglas en inglés). El objetivo es elegir las instalaciones por ubicar de tal manera que se minimicen los costos totales. Para resolver el problema, inicialmente se hace un pre-procesamiento, donde se incorpora una cierta parte del conjunto de restricciones que permite considerar las prefe-

rencias de los clientes. Después, se utiliza un algoritmo heurístico basado en *branch and bound*.

En Ausiello *et al.* (1999) se presenta un resultado que permite la clasificación de los problemas de localización de instalaciones con preferencias de los clientes y todas sus variantes como *NP-hard*. En este trabajo, se consideran los intereses de los clientes diferentes a los costos de distribución y se muestra que este problema no se puede resolver en tiempo polinomial.

En Cánovas, García, Labbé & Marín (2007) se considera la formulación del SPLPO y se resuelven dos relajaciones, una para el problema entero y otra que es fortalecida con un pre-procesamiento donde se utiliza el algoritmo *branch and bound*. Se proponen nuevas desigualdades válidas para considerar las preferencias. Debido al pre-procesamiento se logra reducir el gap de integralidad dentro de un tiempo computacional razonable.

En los trabajos que se mencionaron anteriormente, se añadieron restricciones y/o variables en los modelos para que se tomaran en cuenta las preferencias de los clientes. Sin embargo, hay otras maneras de abordar esta situación, por ejemplo, formularla como un modelo de programación binivel.

El primer modelo binivel donde se consideran las preferencias de los clientes se propone en Hansen, Jaumard & Savard (1992). Se estudia el SPLPO y se reformula como un modelo de un solo nivel utilizando funciones pseudo-booleanas para relajar el problema del seguidor y obtener cotas inferiores válidas. Se muestra que la reformulación que se propone, domina tres nuevas formulas (propuestas previamente) desde el punto de vista de relajación de programación lineal.

En Vasilév, Klimentova & Kochetov (2009) también se reformula el problema binivel como un modelo de uno solo, pero utilizando desigualdades cliqué. En lugar de aumentar el número de variables, utilizaron una nueva familia de desigualdades válidas para obtener cotas inferiores. Además, se demuestra que el caso cooperativo y no cooperativo se puede reducir a un solo caso en el que cada cliente tiene una preferencia ordenada del conjunto de instalaciones que se localizarán y, que la solución óptima del nivel inferior es única debido a la estructura de las preferencias, es decir, son números consecutivos del uno al número total de instalaciones.

En Vasilév & Klimentova (2010) se analiza la eficiencia de la familia de desigualdades que se proponen en Vasilév, Klimentova & Kochetov (2009). Se considera el modelo binivel y se formula como un problema de un solo nivel. Se implementa el método de planos cortantes con base en la familia de desigualdades válidas y obtienen cotas inferiores. Además, se diseña un algoritmo heurístico basado en recocido simulado para obtener valores cercanos al óptimo, se utilizan como cotas superiores. Con ambas cotas se hace un pre-procesamiento uniendo los métodos planos cortantes y recocido simulado mediante *branch and cut* para obtener el óptimo. Los resultados numéricos muestran una reducción en el gap de optimización obtenido por Cánovas *et al.* (2007).

En Marić, Stanimirović, Milenković & Đenić (2015), se muestra una comparación entre tres métodos meta-heurísticos diseñados para resolver el SPLPO, la versión binivel del modelo. Los algoritmos propuestos son: enjambre de partículas, recocido simulado y un algoritmo hibridado de búsquedas locales de vecindario variable. Implementaron una estrategia eficiente para resolver el nivel

inferior a optimalidad. Los tres métodos muestran un buen rendimiento, pero el que obtuvo un mejor desempeño fue el algoritmo híbrido.

El resto de este capítulo se divide de la siguiente manera: a continuación se presentan algunas contribuciones en los problemas de localización de instalaciones con preferencias de los clientes; luego se expone una discusión de estos aportes y se mencionan algunos algoritmos heurísticos que se han propuesto para estos problemas y, finalmente, se exponen las conclusiones.

2. CONTRIBUCIONES

En la introducción se presenta el problema sin capacidades y en la sección 2.2 el problema de la p -mediana. Finalmente, en la sección 2.3 se muestra el problema considerando capacidades.

2.1 El problema de localización de instalaciones sin capacidades

Se presenta el modelo estudiado en Camacho-Vallejo, Cordeiro-Franco & González-Ramírez (2014a). En este trabajo se desarrollan dos reformulaciones del problema binivel reduciéndolo a un problema de programación entera mixta de un solo nivel mediante el uso de las relaciones primal-dual del nivel inferior.

A continuación, se presenta el modelo. Sean i las instalaciones y j los clientes, donde $i \in I$ y $j \in J$. Los parámetros del modelo son: C_{ij} representa el costo de abastecer toda la demanda del cliente j por la instalación i , f_i es el costo fijo de localización de la instalación i y P_{ij} es la preferencia del cliente j de ser atendido por la instalación i . En el problema se tienen dos variables de decisión binarias: Y_i indica si la instalación i se localiza (variable del líder) y la X_{ij} muestra si la instalación i abastece la demanda

del cliente j (variable del seguidor). Por otro lado, se consideran dos supuestos: 1) los clientes a priori establecen sus preferencias ordenadas de cada una de las instalaciones como una lista de números consecutivos del 1 a $|I|$ donde 1 es la instalación más preferida y $|I|$ la menos preferida; y 2) las instalaciones no tienen restricción de capacidad, *i.e.*, una instalación puede abastecer la demanda de varios clientes pero un cliente debe ser abastecido por una sola instalación.

Entonces, la formulación matemática del modelo binivel es:

$$\min_{y,x} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (1)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x \in \text{Argmin} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (6)$$

En la ecuación (1) se presenta la función objetivo de nivel superior, donde el líder desea minimizar los costos de distribución y de localización. La restricción (2) indica la naturaleza de las variables del líder. La restricción (3) indica que las variables X_{ij} , son controladas por el nivel inferior y que están implícitamente determinadas por la solución óptima del problema del seguidor. Esta restricción describe la función de objetivo de nivel inferior, donde los clientes quieren minimizar sus preferencias hacia las

instalaciones. En (4) se indica que un cliente debe ser atendido por una sola instalación, en (5) se establece que un cliente debe ser atendido en una instalación que está localizada. Finalmente, la (6) es la limitante del signo de las variables del nivel inferior.

Para asegurar que el problema esté bien definido, debe existir una solución óptima única en el problema del nivel inferior para cada decisión del nivel superior. Esta propiedad se garantiza por la estructura de las preferencias dadas por los clientes. La prueba de este resultado es presentada por Vasilév, Klimentova & Kochetov (2009).

Para resolver el problema, se presentan dos reformulaciones clásicas utilizadas en problemas de programación binivel para reducirlo a un solo nivel por: Bard (1998) y Dempe (2002). Estos métodos utilizan las condiciones de optimalidad primal-dual del nivel inferior. Se puede ver fácilmente que, si la variable del líder se fija, entonces el nivel inferior implica las clásicas restricciones desagregadas del SPLPO. Por lo tanto, la propiedad de asignación única se mantiene asegurando que un cliente será totalmente abastecido por su instalación más preferida (Krarup & Pruzan, 1983 y Galvao, 2004).

Por lo tanto, las variables binarias X_{ij} pueden ser relajadas sin que la solución óptima entera se vea afectada. Entonces, $X_{ij} \in [0,1]$ se reemplaza por $X_{ij} \geq 0$. Ahora, el problema del nivel inferior es un problema de programación lineal. Entonces, se pueden obtener las condiciones de optimalidad primal-dual. Para reducir el problema binivel a un problema de un solo nivel se pueden usar estas relaciones primal-dual garantizando la optimalidad del problema binivel.

Primero, el problema del nivel inferior debe ser obtenido. Sean $\alpha_j, \forall j \in J$ y $\beta_{ij}, \forall i \in I, j \in J$ las variables duales asociadas a las restric-

ciones del problema del seguidor, donde α_j es la variable dual para la restricción (4) del primal mientras que la variable dual β_{ij} es para la restricción (5). Entonces el problema dual del seguidor queda como sigue:

$$\max_{\alpha, \beta} \sum_{j \in J} \alpha_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_i \beta_{ij} \quad (7)$$

$$\text{sujeto a: } \alpha_j + \beta_{ij} \leq p_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (8)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

La primera reformulación consiste en reemplazar el problema del nivel inferior por sus restricciones primal y dual. Para garantizar la optimalidad del nivel inferior, las funciones objetivos primal y dual se igualan. Entonces, el modelo queda de la siguiente manera:

$$\min_{y, x, \alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (11)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (14)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} \leq p_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} x_{ij} = \sum_{j \in J} \alpha_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \beta_{ij} y_i \quad (16)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (17)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (18)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (19)$$

Las ecuaciones (11) y (12) corresponden al líder, la función objetivo y las restricciones respectivamente. Las restricciones que garantizan la factibilidad primal del seguidor son (13), (14) y (17); y la factibilidad dual son (15), (18) y (19). La restricción que asegura la optimalidad del nivel inferior es la (16); es fácil ver que la restricción es no lineal. Además, el problema (11) - (19) añade $|I||J|+|J|$ variables $|I||J|+I$ y restricciones.

Con la finalidad de resolver el problema, la restricción (16) debe linealizarse. Sea π_{ij} variables auxiliares. Entonces, se hace $\pi_{ij} = \beta_{ij} y_i$. Se puede ver que, si $y_i = 0$, entonces $\pi_{ij} = 0$; y si $y_i = 1$, entonces $\pi_{ij} = \beta_{ij}$. Esto se puede hacer mediante la introducción de las siguientes desigualdades:

$$\pi_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (20)$$

$$\pi_{ij} \geq -My_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (21)$$

$$\pi_{ij} \geq \beta_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (22)$$

$$\pi_{ij} + My_i \leq \beta_{ij} + M \quad \forall i \in I, j \in J \quad (23)$$

Como resultado, se genera un modelo de programación entera mixta que es equivalente al modelo binivel (1) - (6). El modelo reformulado queda de la siguiente manera:

$$\min_{y, x, \alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (24)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (25)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (26)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (27)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} \leq p_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (28)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} x_{ij} = \sum_{j \in J} \alpha_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \pi_{ij} \quad (29)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (30)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (31)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (32)$$

$$\pi_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (33)$$

$$\pi_{ij} \geq -My_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (34)$$

$$\pi_{ij} \geq \beta_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (35)$$

$$\pi_{ij} + My_i \leq \beta_{ij} + M \quad \forall i \in I, j \in J \quad (36)$$

Esta reformulación añade $2|I||J|+|J|$ variables y $4|I||J|+1$ restricciones. Cabe mencionar que esta reformulación del problema, utilizando las relaciones primal-dual, es solo una alternativa para resolverlo. Existe otra forma de reformular el problema binivel y es utilizando la holgura complementaria. Para este esquema la restricción (16) puede ser sustituida por las siguientes

restricciones de complementariedad que fuerzan la holgura complementaria:

$$x_{ij} (\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij}) = 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (37)$$

$$\beta_{ij} (x_{ij} - y_i) = 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (38)$$

Es fácil ver que ambas restricciones son no lineales. Como x_{ij} y $(x_{ij} - y_i)$ son binarias, entonces pueden ser linealizadas con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (39)$$

$$\beta_{ij} \geq -M(1 + (x_{ij} - y_i)) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (40)$$

Donde M es una constante positiva y suficientemente grande.

Podemos ver que si $x_{ij} = 0$, entonces de (39) tenemos que $\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \geq -M$ y como $\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \leq 0$ se cumple; y de (40) tenemos que $\beta_{ij} \geq 0$ pero como $\beta_i \leq 0$ entonces $\beta_i = 0$. Ahora, si $x_{ij} = 1$, entonces de (39) tenemos que $\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \geq 0$ y como $\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \leq 0$, entonces $\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} = 0$; y de (40) tenemos que $\beta_{ij} \geq -M$ pero como $\beta_{ij} \leq 0$ se cumple.

Entonces el problema resultante de programación entera mixta es equivalente al problema binivel (1) - (6) y puede ser considerado como la segunda linealización a un nivel del problema. El modelo reformulado queda de la siguiente manera:

$$\min_{y, x, \alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (41)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (42)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (43)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (44)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} \leq p_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (45)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (46)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (47)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (48)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} - p_{ij} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (49)$$

$$\beta_{ij} \geq -M(1 + (x_{ij} - y_i)) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (50)$$

En esta reformulación se añaden $3|I||J|$ restricciones y $|I||J|+|J|$ variables adicionales. Por lo tanto, es significativamente menor que la reformulación (24) - (36).

2.2 El problema de la p-mediana

Cuando el número total de instalaciones por localizar es conocido, el problema es llamado p-mediana. Este problema se propone en Alekseeva & Kochetov (2007). En este trabajo se desarrollan varias reformulaciones de un solo nivel para la obtención de cotas inferiores, las cuales se basan en diferentes versiones de funciones pseudo-booleanas. Luego, se diseña un algoritmo genético hibridizado con búsquedas locales para obtener cotas superiores. Las reformulaciones y el algoritmo híbrido se proponen para la versión de un nivel del problema, es decir, el problema no lo consideran como un modelo de optimización binivel.

Después, en Camacho-Vallejo, Casas-Ramírez & Miranda (2014b), se presenta un modelo binivel similar al estudiado en Alekseeva & Kochetov (2007). La principal diferencia es que en Camacho-Va-

llejo, Casas-Ramírez & Miranda (2014b) se consideran costos fijos de instalación.

Sea p el número de instalaciones por localizar. Además, se hace un cambio de variable para evitar confusiones de p_{ij} por g_{ij} . Entonces, el modelo matemático es el siguiente:

$$\min_y \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (51)$$

$$\text{sujeto a:} \quad \sum_{i \in I} y_i = p \quad (52)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (53)$$

$$x \in \text{Arming} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} g_{ij} x_{ij} \quad (54)$$

$$\text{sujeto a:} \quad \sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (55)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (56)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (57)$$

Comparando este modelo con el presentado en el aparte 2.1 se puede observar que la única diferencia es la restricción (52) en el líder. Además, se pueden aplicar las condiciones de optimalidad primal-dual para reformular el problema a uno de un solo nivel de manera análoga que en 2.1.

Entonces, utilizando la reformulación de la igualdad de las funciones objetivos, primal y dual, del nivel inferior, y linealizando las ecuaciones necesarias se obtiene el siguiente modelo de un solo nivel.

$$\min_{y, x, \alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (58)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{i \in I} y_i = p \quad (59)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (60)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (61)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (62)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} \leq g_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (63)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} g_{ij} x_{ij} = \sum_{j \in J} \alpha_j + \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} \pi_{ij} \quad (64)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (65)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (66)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (67)$$

$$\pi_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (68)$$

$$\pi_{ij} \geq -My_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (69)$$

$$\pi_{ij} \leq \beta_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (70)$$

$$\pi_{ij} + My_i \leq \beta_{ij} + M \quad \forall i \in I, j \in J \quad (71)$$

Aplicando la reformulación de la holgura complementaria y linealizando las restricciones necesarias se obtiene el siguiente modelo:

$$\min_{y, x, \alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (72)$$

$$\text{sujeto a:} \quad \sum_{i \in I} y_i = p \quad (73)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (74)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (75)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} \leq g_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (76)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (77)$$

$$\beta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (78)$$

$$\alpha_j \in \mathbb{R} \quad \forall j \in J \quad (79)$$

$$\alpha_j + \beta_{ij} - g_{ij} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (80)$$

$$\beta_{ij} \geq -M(1 + (x_{ij} - y_i)) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (81)$$

Analizando los dos modelos resultantes de las reformulaciones, es evidente que este último (holgura complementaria) es mucho menor en tamaño que el de la igualdad de las funciones objetivo.

Por otro lado, en Camacho-Vallejo, Casas-Ramírez & Miranda (2014b) se presenta otra reformulación donde el problema

se reduce a uno de un solo nivel a través de la sustitución del problema del seguidor por el siguiente conjunto de restricciones:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} g_{ij} \leq g_{ij} y_i + G_{max} (1 - y_i) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (82)$$

$$\text{Donde } G_{max} = \max(g_{ij}) + 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (83)$$

El punto clave es la ecuación (82), que es un tipo de restricción de asignación a la más cercana. En detalle, si se localiza la instalación i , entonces $G_{max} (1 - y_i)$ es igual a cero e implica que entre todas las asignaciones posibles, se asignará el cliente j a la instalación más preferida. Por el contrario, la instalación i no es ubicada, $g_{ij} y_i$ es igual a cero por lo que esta restricción se relaja ya que G_{max} actúa como una cota superior para todas las preferencias ordenadas.

Entonces, el problema reformulado es equivalente al problema binivel analizado y se muestra a continuación:

$$\min_{y, x} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \quad (84)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{i \in I} y_i = p \quad (85)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad (86)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (87)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (88)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} g_{ij} \leq g_{ij} y_i + G_{max} (1 - y_i) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (89)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (90)$$

Es común que, cuando se estudian problemas de la p-mediana, los costos fijos se omiten. En Camacho-Vallejo, Casas-Ramírez & Miranda (2014b) sí se consideraron. En el caso de que se asuman costos fijos homogéneos, es fácil ver que el modelo no se afecta. Sin embargo, en los problemas se consideraron los costos fijos, son heterogéneos. La experimentación numérica permite concluir que estos métodos exactos requieren un esfuerzo computacional significativo.

2.3. El problema de localización de instalaciones con capacidades

Se puede recordar que en ninguno de los trabajos mencionados en la introducción consideran capacidades y demandas en el problema. Solo se han encontrado pocos artículos donde se toman en cuenta. Por ejemplo, en Caramia & Mari (2016) donde el líder localiza las instalaciones y decide la capacidad correspondiente a cada instalación para minimizar los costos, el seguidor selecciona la fracción de demanda de los clientes que cada instalación deberá abastecer. La ventaja que se tiene es que el problema de nivel inferior es de programación lineal que se puede resolver sin complicaciones.

En Casas-Ramírez, Camacho-Vallejo & Martínez-Salazar (2017) se consideran también capacidades y demandas, pero el problema del nivel inferior es el Problema de Asignación Generalizada (GAP, por sus siglas en inglés), el cual es *NP-hard* y por lo tanto su resolución óptima no puede ser siempre garantizada. El modelo que se propone en este trabajo es el siguiente:

$$\min_{y, x} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (91)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (92)$$

$$x \in \text{Arg max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} \quad (93)$$

$$\text{sujeto a:} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (94)$$

$$\sum_{j=1}^m d_j x_{ij} \leq b_i y_i \quad \forall i \quad (95)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \quad (96)$$

Podemos observar que la nueva restricción (95) nos garantiza que las instalaciones localizadas atenderán la demanda de todos los posibles clientes sin sobrepasar su capacidad de producción.

En ese trabajo se proponen cotas válidas del problema, basadas en las reformulaciones del problema relajado. Se procede de manera análoga que en el aparte 2.1 para la aplicación de las reformulaciones clásicas de programación binivel.

Se sustituye $x_{ij} \in [0,1]$ por $x_{ij} \geq 0$. Sean, u_j y v_i las variables duales asociadas al problema del nivel inferior. Entonces, el problema dual del nivel inferior es:

$$\min_{u,v} \sum_{j=1}^m u_j + \sum_{i=1}^n b_i y_i v_i \quad (97)$$

$$\text{sujeto a:} \quad u_j + d_j v_i \geq p_{ij} \quad \forall i,j \quad (98)$$

$$v_i \geq 0 \quad \forall i \quad (99)$$

Empleando la reformulación con base en la igualdad de la función objetivo, el problema resultante es el que se presenta a continuación:

$$\min_{y, x, u, v, z} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (100)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (101)$$

$$\sum_{j=1}^m d_j x_{ij} \leq b_i y_i \quad \forall i \quad (102)$$

$$u_j + d_j y_i \geq p_{ij} \quad \forall i, j \quad (103)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} = \sum_{j=1}^m u_j + \sum_{i=1}^n b_i z_i \quad (104)$$

$$z_i \geq 0 \quad \forall i \quad (105)$$

$$z_i \leq M_1 y_i \quad \forall i \quad (106)$$

$$z_i \leq v_i \quad \forall i \quad (107)$$

$$z_i - M_1 y_i \geq v_i - M_1 \quad \forall i \quad (108)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (109)$$

$$x_{ij} v_i \geq 0 \quad \forall i, j \quad (110)$$

Ahora, el modelo resultante con la reformulación basada en la holgura complementaria es:

$$\min_{y, x, u, v, \alpha, \beta} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (111)$$

$$\text{sujeto a:} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (112)$$

$$\sum_{j=1}^m d_j x_{ij} \leq b_i y_i \quad \forall i \quad (113)$$

$$u_j + d_j v_i \geq p_{ij} \quad \forall i, j \quad (114)$$

$$x_{ij} \leq M_2(1 - \alpha_{ij}) \quad \forall i, j \quad (115)$$

$$u_j + d_j v_i - p_{ij} \leq M_2 \alpha_{ij} \quad \forall i, j \quad (116)$$

$$b_i y_i - \sum_{j=1}^m d_j x_{ij} \leq M_3 \beta_i \quad \forall i \quad (117)$$

$$v_i \leq M_3(1 - \beta_i) \quad \forall i \quad (118)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (119)$$

$$x_{ij} v_i \geq 0 \quad \forall i, j \quad (120)$$

$$\alpha_{ij} \beta_i \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (121)$$

Comparando ambos modelos y sin considerar las restricciones de signos de las variables, en el modelo se tienen $3mn+3n+1$ restricciones adicionales y $m+2n$ variables extra. Por otro lado, en el segundo modelo se añaden $5mn+2n$ nuevas restricciones y $mn+m+2n$ variables. Por lo tanto, es fácil ver que el segundo modelo es mayor que el primer modelo en términos del número de restricciones y variables.

Además, en Casas-Ramírez & Camacho-Vallejo (2017) presentan otra reformulación clásica. En este esquema la función objetivo del seguidor es ignorada. Por lo tanto, el modelo queda de la siguiente manera.

$$\min_{y, x} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (122)$$

$$\text{sujeto a: } y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (123)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (124)$$

$$\sum_{j=1}^m d_j x_{ij} \leq b_i y_i \quad \forall i \quad (125)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (126)$$

Como es de esperar, este tipo de reformulación es poco utilizada debido a que las cotas generadas tienen una calidad pobre porque el objetivo del seguidor es totalmente ignorado.

3. DISCUSIÓN

En la planificación de experimentos su valor está condicionado con la capacidad de definir un juicio referente a las estadísticas de la población o universo asociado a la práctica experimental (Insignares & Orozco, 2014). Es importante mencionar que, si el problema se formula como un modelo binivel, tendrá solo un par de restricciones (sin considerar las de signo), donde una de ellas es otro problema de optimización. Comparando con las reformulaciones que se proponen, se puede ver que en algunas el número de variables puede mantenerse, pero se incrementa el número de restricciones.

Ambos enfoques del modelo tienen su grado de dificultad: en el modelo binivel hay un problema de optimización dentro de una restricción, lo cual complica su resolución; por el otro lado, en las reformulaciones de los modelos el número de restricciones y de variables aumenta.

Sin embargo, las reformulaciones propuestas de los problemas a pesar de aumentar de tamaño pueden resolverse mediante un *software* especializado para optimizar los problemas de programación matemática. El inconveniente que tienen las reformulaciones es que el tiempo computacional que requieren es significativo y aumenta conforme el tamaño de instancia se incrementa; en algunos casos hasta les resulta imposible resolver.

En la Figura 2, que se presenta en Casas-Ramírez & Camacho-Vallejo (2017), puede verse que el tiempo consumido por la reformulación clásica (cuadrado) y el de la reformulación donde se igualan las funciones objetivo (triángulo) es menor que el requerido por un algoritmo enumerativo (círculo).

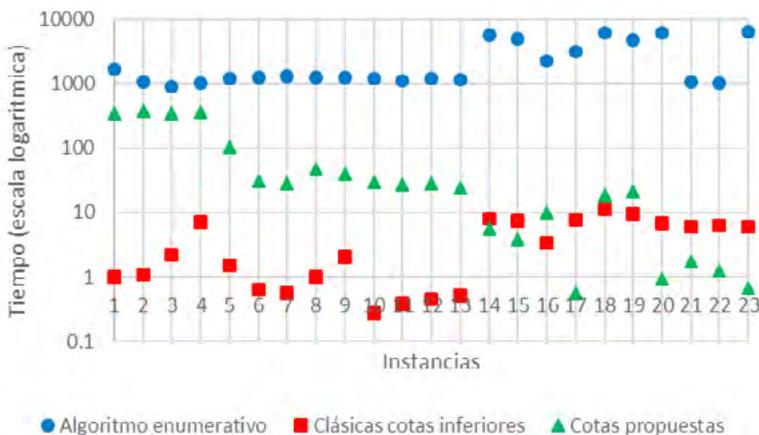


Figura 2
Tiempo requerido (en segundos)
Fuente: Elaboración propia

Después, en la Figura 3 se compara el gap de optimalidad de ambas reformulaciones que se proponen; puede verse que, como era de esperarse, la reformulación que tiene un gap mucho mayor es aquella donde la función objetivo del seguidor es ignorada.



Figura 3
Gap de optimalidad
Fuente: Elaboración propia

De las dos figuras anteriores podemos concluir que las reformulaciones a un nivel de un problema binivel son una buena alternativa para resolver estos problemas debido a que consumen menor tiempo comparado con el requerido por un algoritmo enumerativo. Por otro lado, comparando las reformulaciones podemos ver que si bien la reformulación donde se omite la función objetivo del seguidor es más rápida, es la que provee una cota de menor calidad. Además, a nuestro conocimiento, aún no existe un *software* comercial capaz de resolver un problema binivel de forma general.

Con base en lo anterior, en algunos trabajos se proponen algoritmos heurísticos para encontrar soluciones de buena

calidad en tiempo razonable ya sea para el modelo reformulado o la versión binivel del problema.

Por ejemplo, en Camacho-Vallejo, Cordero-Franco & González-Ramírez (2014a), se propone un algoritmo Stackelberg-Evolutivo para resolver la versión binivel del problema de localización de instalaciones sin capacidades. Para probar el rendimiento del algoritmo y de las reformulaciones se trabaja con las instancias de Cánovas, García, Labbé & Marín (2007) y se generan otros conjuntos de instancias de mayor tamaño de hasta de 500 instalaciones y 1.000 clientes.

Además, en Maldonado-Pinto, Casas-Ramírez & Camacho-Vallejo (2016) se estudia este mismo problema y se propone un algoritmo híbrido evolutivo con re-encadenamiento de trayectorias para su resolución. El problema del nivel inferior se resuelve con tres diferentes esquemas: un optimizador, un método exacto alternativo y un procedimiento donde el nivel inferior no se resuelve en cada movimiento del re-encadenamiento de trayectorias.

En Casas-Ramírez, Camacho-Vallejo & Martínez-Salazar (2017) se proponen tres versiones de un algoritmo híbrido para resolver la versión binivel del problema considerando capacidades. En este algoritmo el nivel superior se resuelve con la heurística entropía cruzada y el nivel inferior con tres procedimientos diferentes: con un optimizador (soluciones factibles binivel) y dos métodos constructivos (soluciones alcanzables binivel); la primera basada en las preferencias de los clientes y la segunda teniendo en cuenta un costo de arrepentimiento de no seleccionar a la instalación más preferida.

También, en otros trabajos donde se estudian problemas diferentes de programación binivel se proponen algoritmos heurísticos para su resolución. Por ejemplo, en Díaz, Luna, Camacho-Vallejo & Casas-Ramírez (2017) se plantea para resolver un problema de máxima cobertura un GRASP-Tabu, mientras que Camacho-Vallejo, Muñoz-Sánchez & González-Velarde (2015a) se expone un algoritmo híbrido de búsqueda dispersa con GRASP para un problema de planificación de producción y distribución en una cadena de suministro, en Camacho-Vallejo, Mar-Ortiz, López-Ramos & Pedraza Rodríguez (2015b) se resuelve un problema de diseño topológico de una red de área local con un algoritmo genético. En Kalashnikov, Herrera-Maldonado, Camacho-Vallejo & Kalashnykova (2016) el problema de fijación de cuotas en autopistas se estudia y para resolverlo se desarrolla un algoritmo basado en análisis de sensibilidad.

4. CONCLUSIONES

En este capítulo se han discutido problemas de localización de instalaciones con preferencias de los clientes modelados con programación binivel. El nivel superior es el localizador que desea minimizar los costos totales de instalación y el nivel inferior, que implica a los clientes, quiere optimizar las preferencias de los clientes sobre las instalaciones.

En particular, se presentaron tres modelos donde el primero es considerando que no existe capacidad en las instalaciones; en el segundo se tiene como supuesto que se deben de localizar exactamente un número particular de instalaciones por lo que es conocido como el problema de la p-mediana; por último, se considera una estructura donde existe capacidad en las instalaciones por lo que el grado de complejidad del problema aumenta

significativamente al tener un problema *NP-hard* en el nivel inferior.

Las características de los modelos permiten aplicar las reformulaciones clásicas de programación binivel para reducirlos a problemas de un solo nivel. Las reformulaciones se basan en las condiciones de optimalidad primal-dual del nivel inferior. Para garantizar la optimalidad de la solución del nivel inferior se consideran dos esquemas comunes: forzando la igualdad de las funciones objetivo del primal y dual del nivel inferior y, añadiendo las restricciones de holgura complementaria.

Por otro lado, se puede reformular el modelo a un nivel ignorando la función objetivo del seguidor. Es conocido que este método provee soluciones de mala calidad y por eso normalmente no se considera este esquema. Además, también se ha mostrado que pueden explotar las propiedades del nivel inferior para reemplazarlo con algún conjunto de restricciones.

Debido a que en los modelos resultantes de las reformulaciones se añaden restricciones y variables, el tamaño de los modelos aumenta considerablemente; este hecho afecta en el tiempo de cómputo requerido por lo cual no son una opción idónea cuando se resuelven instancias de dimensiones grandes. Es por esto que se debe recurrir a otras opciones para la obtención de soluciones de calidad y que soliciten un tiempo computacional razonable, como por ejemplo algoritmos heurísticos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alekseeva, E. & Kochetov, T. (2007). Genetic local search for the p -median problem with client's preferences. *Diskret. Anal. Issled. Oper*, 14, 3-31.

- Ausiello, G., Protasi, M., Marchetti-Spaccamela, A., Gambosi, G., Crescenzi, P. & Kann, V. (1999). *Complexity and approximation: combinatorial optimization problems and their approximability properties*. Berlin, Germany: Springer.
- Bard, J. F. (1998). *Practical bilevel optimization. Algorithms and applications*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Camacho-Vallejo, J. F., Casas-Ramírez, M. S. & Miranda, P. (2014b). The p-median bilevel problem under preferences of the customers. In R. Z. Ros-Mercado et al. (Eds.): *Recent Advances in Theory, Methods, and Practice of Operations Research*, (pp.121-127). Monterrey, México: Editorial UANL.
- Camacho-Vallejo, J. F., Cordero-Franco, A. & González-Ramírez, R. (2014a). Solving the bilevel facility location problem under preferences by a stackelberg-evolutionary algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 430243, 14 pages.
- Camacho-Vallejo, J. F., Mar-Ortiz, J., López-Ramos, F. & Pedraza Rodríguez, R. (2015b). A genetic algorithm for the bi-level Topological Design of Local Area Networks. *PLoS ONE* 10(6): e0128067. doi:10.1371/journal.pone.0128067
- Camacho-Vallejo, J. F., Muñoz-Sánchez, R. & González-Velarde, J. L. (2015a). A heuristic algorithm for a supply chain's production-distribution planning. *Computers & Operations Research*, 61, 110-121.
- Cánovas, L., García, S., Labbé, M. & Marín, A. (2007). A strengthened formulation for the simple plant location problem with order. *Operations Research Letters*, 35(2), 141-150.
- Caramia, M. & Mari, R. (2016). A decomposition approach to solve a bilevel capacitated facility location problem with equity constraints. *Optimization Letters*, 10(5), 997-1019. doi:10.1007/s11590-015-0918-z.
- Casas-Ramírez, M. S. & Camacho-Vallejo, J. F. (2017). Analyzing valid bounds for a facility location bilevel problem with capacities. Accepted for publication in *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*.

- Casas-Ramírez, M. S., Camacho-Vallejo, J. F. & Martínez-Salazar, I. A. (2017). Approximating solutions to a bilevel capacitated facility location problem with customer's patronization towards a list of preferences. *Applied Mathematics and Computation*, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2017.03.051>
- Dempe, S. (2002). *Foundations of bilevel programming*. New York, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Díaz, J. A., Luna, D. E., Camacho-Vallejo, J. F. & Casas-Ramírez, M. S. (2017). GRASP and Hybrid GRASP-Tabu Heuristics to Solve a Maximal Covering Location Problem with Customer Preference Ordering. *Expert Systems with Applications*, 82, 67-76.
- Galvao, R. (2004). Uncapacitated facility location problems: contributions. *Pesquisa Operacional*, 24, 7-38.
- Hakimi, S. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, 12(3), 450-459.
- Hanjoul, P. & Peeters, D. (1987). Facility location problem with client's preference orderings. *Regional Science and Urban Economics*, 17(3), 451-473.
- Hansen, P., Jaumard, B. & Savard, G. (1992). New branch and bound rules for linear bilevel programming. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 13(5), 1194-1217.
- Insignares Movilla, J. & Orozco, E. (2014). The t distribution: a transformation of the employee of the brewery. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 2(2), 36-43. <https://doi.org/10.17081/invinno.2.2.2049>
- Kalashnikov, V. V., Herrera-Maldonado, R. C., Camacho-Vallejo, J. F., & Kalashnykova, N. I. (2016). A heuristic algorithm solving bilevel toll optimization problems. *The International Journal of Logistics Management*, 27, 31-51.
- Kariv, O. & Hakimi, S. (1979). An algorithmic approach to network location problem. Part II: The p-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 37, 539-560.

- Krarup, J. & Pruzan, P. (1983). The simple plant location problem: survey and synthesis. *European Journal of Operational Research*, 12, 36-81.
- Maldonado-Pinto, S., Casas-Ramírez, M. S. & Camacho-Vallejo, J. F. (2016). Analyzing the Performance of a Hybrid Heuristic for Solving a bilevel Location Problem under Different Approaches to Tackle the Lower Level. *Mathematical Problems in Engineering*, ID 9109824, 10 pages.
- Marić, M., Stanimirović, Z., Milenković, N., & Đenić, A. (2015). Metaheuristic approaches to solving large-scale bilevel Uncapacitated Facility Location Problem with clients' preferences. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 25(3), 361-378.
- Vasilév, I. & Klimentova, K. (2010). The branch and cut method for the facility location problem with clients preferences. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 4(3), 441-454.
- Vasilév, I., Klimentova, K. & Kochetov, Y. (2009). New lower bounds for the facility location problem with clients preferences. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 49(6), 1010-1020.

Cómo citar este capítulo:

Casas-Ramírez, M. S. & Camacho-Vallejo, J. F. (2018). Considerando preferencias de los clientes en problemas de localización de instalaciones. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.43-74). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Modelo de planificación colaborativa estratégica en cadenas de suministro. Casos de estudio

NEYFE SABLÓN COSSIO¹
JOSÉ ANTONIO ACEVEDO SUÁREZ²
MANUEL PÉREZ QUINTANA³
ANA JULIA ACEVEDO URQUIAGA⁴

-
- 1 Universidad Técnica del Manabí, Ecuador.
nsablonc@utm.edu.co
 - 2 Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.
acevedo@tesla.cujae.edu.cu
 - 3 Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.
mperez@uea.edu.ec
 - 4 Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.
anajulia@economia.cujae.edu.cu

RESUMEN

En la actualidad, las cadenas de suministro se convierten en una necesidad para el desarrollo de la competitividad de una región o de un producto en particular. Este capítulo tiene como objetivo evaluar la situación actual y perspectiva de las cadenas de suministro en Latinoamérica y el Caribe, con énfasis en la satisfacción del cliente en las condiciones de cada región. Para el estudio se utiliza el Modelo de Planificación Estratégica Colaborativa en cadenas de suministro. Se localiza el estudio en cadenas de diferente naturaleza, y resultan: en el comercio (Cuba), en los suministros médicos (Cuba) y la panela (Puyo, Ecuador). En estos casos, se dedica un espacio al impacto en la satisfacción del cliente final. Se utiliza la lista de chequeo para evaluar el nivel de integración entre los actores de la cadena, como manifiesto de la planificación colaborativa. El trabajo posee un valor metodológico dado por la factibilidad de aplicación del modelo en las cadenas agroalimentarias, un valor social que se manifiesta en la contribución a la competitividad de las cadenas y un valor práctico por la mejora de la satisfacción del cliente, con relación a una alimentación saludable.

Palabras clave: cadenas de suministro, planificación colaborativa, cliente.

ABSTRACT

The supply chains today are a necessity for the development of the competitiveness of a region or a particular product. This chapter aims to evaluate the current situation and perspective of supply chains in Latin America and the Caribbean, with emphasis on customer satisfaction in the conditions of each region. The model uses the Strategic Collaborative Planning Model in supply chains. The study is located in trade (Cuba), in medical supplies

(Cuba) and panela (Puyo, Ecuador). In these cases, a space is dedicated to impact on the final client satisfaction. The checklist is used to assess the integration level among the actors in the chain, as a manifesto of collaborative planning. The work has a methodological value given by the feasibility of application of the model in agrifood chains, a social value that is presented in the contribution to the competitiveness of the chains and a practical value for the customer satisfaction improvement, in relation to healthy nutrition.

Keywords: supply chains, collaborative planning, client.

1. INTRODUCCIÓN

En víspera de la cuarta Revolución Industrial, se personaliza la producción masiva, se impulsa la automatización de la manufactura y se aumenta el nivel de la tecnología (Oppenheimer, 2013) donde la administración de operaciones se destaca por su enfoque integral que resulta: por proceso, de calidad total, estratégico, socio-técnico y logístico (cadenas de suministro, cadena de valor y redes de redes) (Render & Heizer, 2004). Este capítulo se centra en el último elemento, y en específico, en las cadenas de suministro.

Una tendencia actual de las cadenas es el desarrollo de la colaboración y a la vez es una necesidad para el progreso de las economías, que se encamina a potenciar la competitividad y satisfacer las crecientes necesidades de los clientes, de manera personalizada, con base en la integración entre los actores de una cadena (Singh & Shabani, 2017).

La cadena de suministro, tendencia que surge en la década del 90 del siglo XX, se concibe como una red global de actividades,

procesos y múltiples negocios, desde el cliente final al proveedor inicial, asociada al flujo material, informativo y financiero que se orienta a la satisfacción del cliente final. Se manifiesta como una filosofía que propicia la integración entre los actores de la cadena (Balloud, 2004; Bowersox, Closs & Bixby, 2002; Fernández *et al.*, 2015; Pires & Carretero, 2007).

A nivel internacional, el Banco Mundial registra y define el índice de desempeño logístico (Schwab, 2015). El índice de referencia que se menciona está integrado por varios componentes, a saber: trámites aduaneros, infraestructura, calidad de los servicios, los tiempos de espera, los envíos internacionales y la trazabilidad de la mercancía. El indicador permite realizar un ranking de 155 países en función del valor del patrón del medidor con el uso de una escala donde uno es el más bajo y cinco es el mejor, como referente de competitividad y productividad siendo impulsor de la gestión estratégica en las dimensiones organizacionales (Martínez, Cardeño, Ramírez & Durán, 2017). La misma institución registra el índice global de competitividad (Schwab, 2015), que se diferencia del indicador anterior por la gestión de la información y las cadenas de suministro de exportación, donde se enfoca el tema de este capítulo del libro.

La integración como nueva forma de gestión entre los negocios, presenta varias etapas en función de la complejidad y los niveles de relación que son la asignación, la negociación, la asociación, la cooperación, la coordinación y la colaboración (Harrison & Hoek, 2005; Pires & Carretero, 2007), donde la primera es un aporte de qué (Sablón *et al.*, 2016) y la última es el escalón más alto de la integración en la cadena de suministro.

La planificación colaborativa es una de las manifestaciones de la integración en las cadenas de suministro (Maliah, Shani & Stern, 2017). Se basa en planificar de forma conjunta la demanda, la información, las órdenes, el servicio y el producto que se ofrecen en el marco de la colaboración donde se define una estrategia conjunta para los actores de la cadena (Calle, Barinaga & Gietz, 2016; Hernández, 2011; Ribas & Companys, 2007; VICS, 2010). Los elementos anteriores se conforman según un plan de negocio conjunto (Sablón, Martínez, Acevedo & Acevedo, 2017; Stadler & Kilger, 2008). En la literatura consultada no se presentan los elementos que componen el plan de negocio conjunto ni las estrategias para lograr la integración. La *Voluntary Interindustry Commerce Solutions* (VICS, 2010) define indicadores de desempeño de la planificación colaborativa, aunque no evalúa la planificación colaborativa de forma general.

Se identifica un grupo de deficiencias de manera general: el bajo nivel de servicio al cliente, afectado por el bajo nivel de disponibilidad de los productos y el desconocimiento de la demanda por los actores de la cadena, la escasa integración y coordinación entre los actores de la cadena de suministro, la deficiente integración entre los planes y la capacidad de las formas productivas, el desconocimiento de los proveedores primarios y los clientes finales por los actores de la cadena de suministro, los bajos rendimientos agrícolas para satisfacer las necesidades de los clientes, los ineficientes suministros para estabilizar la siembra y producción nacional, la descapitalización tecnológica en los actores de la cadena de suministro, la baja disponibilidad y variedad de envases y embalajes en la industria y la agricultura, la contratación no funciona como mecanismo de regulación, la falta de formación y capacitación del personal de la cadena de suministro, la distorsión entre los precios y los costos en la

cadena de suministro y los altos inventarios en las cadenas de suministro.

El objetivo del presente capítulo es evaluar la situación actual y perspectiva de la integración en las cadenas de suministro en Latinoamérica y el Caribe, con énfasis en la satisfacción del cliente en las condiciones históricas de cada región. La aplicación del modelo se realiza en siete cadenas de suministro con resultados y naturaleza diferentes; pero con alcance y vínculos nacionales e internacionales. En el estudio se utiliza la estructura propuesta por la plataforma de buenas prácticas logísticas.

2. PLANIFICACIÓN COLABORATIVA EN LA CADENA DE SUMINISTROS

La planificación colaborativa, como filosofía de integración, se conoce en la literatura desde diferentes enfoques o abordajes. Se basa en identificar distintos dominios de planificación local, donde el ámbito de la planificación corresponde a una única organización dentro de la cadena (Kumar, Banerjee, Meena & Ganguly, 2017), se obtiene un proceso de planificación global y una estrategia de colaboración para el conjunto de actores de la cadena. Es un proceso compuesto por distintas fases y etapas, las cuales se interrelacionan; se desempeña en un marco de trabajo común que puede ser formal a través de contratos de colaboración, donde interactúan clientes y proveedores y se crea un valor adicional entre los socios. En las negociaciones pueden surgir conflictos, aunque la resolución de las diferencias son de tipo colaborativas.

Se desarrolla una nueva previsión y valores finales según el acuerdo establecido, se debe compartir información de forma segura y comprobar la integridad de los datos con base en puntos en común, donde predominen supuestos de políticas y esquemas de intercambio de información colaborativos. Es la gestión del conocimiento que se produce en los procesos de intercambio de información en el entorno colaborativo que permite generar respuestas rápidas a los actuales entornos turbulentos en función de los cambios de la demanda y genera un valor añadido al producto, servicio y a las operaciones de la cadena (Sablón *et al.*, 2016).

Es una filosofía de gestión que, a través de los procesos colaborativos, modelos y metodologías puede coexistir con otras filosofías para gestionar el trabajo articulado de forma global, para a partir de los resultados tomar decisiones mediante la elaboración del plan de negocio conjunto que propicia ir más adelante que la competencia y brinda a las cadenas beneficios y desventajas (Sablón *et al.*, 2016).

En resumen, la planificación colaborativa es una filosofía de gestión; se desarrolla en un marco de trabajo común, donde prevalece el intercambio de información y la planificación de los procesos entre los actores de la cadena agroalimentaria. Las estrategias de planificación colaborativa y la previsión de la demanda son elementos base. A pesar de los diferentes sustentos teóricos sobre el término, no existe un indicador para medir el nivel de planificación colaborativa en la cadena, lo que influye en la determinación de cuál estrategia elegir y cómo satisfacer a los clientes.

En la planificación colaborativa el plan de negocio conjunto es la vía, medio y herramienta para el buen funcionamiento de la cadena de suministro (VICS, 2010). A partir del análisis de las definiciones de plan de negocio conjunto (Bozarth, 2011), se construye una matriz donde se identifican los componentes que los definen. Estos son la organización de la colaboración, los acuerdos comunes, las responsabilidades de los actores, la demanda conjunta y la información a intercambiar (Ali, Babai, Boylan & Syntetos, 2017). La planificación colaborativa significa conectar varios dominios de planificación en cada una de las organizaciones para intercambiar la información relevante para el proceso de planificación global (Ribas & Companys, 2007). Al tener en cuenta la situación actual es necesario un modelo de planificación que garantice la integración entre los actores de las cadenas, el aumento de los indicadores de la disponibilidad de los productos para el cliente final y la mejora de la rotación de inventario en la cadena agroalimentaria.

Luego del análisis de las implicaciones de la planeación y de la planificación colaborativa, se reconoce a esta última como la base de un modelo para cumplir los requerimientos anteriores. Los autores definen la planificación colaborativa estratégica como una herramienta para alinear los planes estratégicos de cada actor a la planeación estratégica conjunta de la cadena, expresada en un plan de negocio conjunto que refleja las estrategias y objetivos colaborativos de la cadena con respecto al mercado y la parte social, donde se define la demanda conjunta, las capacidades a asegurar y la información a intercambiar para lograr la competitividad de la cadena de suministro, en función de brindar un alto nivel de servicio a los clientes finales, donde la demanda conjunta es la de los consumidores o clientes finales

y su derivación a cada actor de la cadena de acuerdo a las relaciones tecnológicas y aporte que asume cada uno. A partir del incremento en las demandas de nivel de servicio de los consumidores, es necesario potenciar la competitividad en la cadena de suministro.

La competitividad es la capacidad diferenciada y distintiva de los actores de una red en el mercado en que actúa para suministrar eficientemente valor agregado a los clientes finales, satisfacer creciente e integralmente sus dinámicas demandas y las exigencias del entorno, así como contribuir a la mejora social, ambiental y de los trabajadores (Acevedo & Gómez, 2013). A la vez, la competitividad está compuesta por las dimensiones siguientes: cliente, economía, técnica, mercado, medioambiente y social (Acevedo & Gómez, 2013); se traduce en objetivos concretos en función de las estrategias de planificación colaborativa de la cadena de suministro. Para lograr estos objetivos, a criterio de los autores, se debe contar con un modelo de planificación colaborativa estratégica que permita la integración entre los actores de una cadena de suministro donde se convenían las estrategias de desarrollo de las tecnologías de la información y comunicaciones, así como los cambios en la configuración de la cadena de suministro, que se realice en la planificación colaborativa entre los procesos de la cadena de suministro e incluya los procesos de investigación y desarrollo como parte de una estrategia conjunta, el establecimiento de un acuerdo de colaboración a partir del plan de negocio conjunto que parte de la definición de una única demanda y se establecen mecanismos para la evaluación del desempeño de la cadena de suministro. Se incluye el monitoreo del nivel de servicio al cliente por el conjunto de actores.

3. MÉTODO

3.1 Diseño

La sistematización en la actividad empresarial de las cadenas de suministro necesita de procedimientos y regulaciones que la sostengan en función de las necesidades del cliente y para potenciar la competitividad con base en la colaboración. El modelo de planificación colaborativa estratégica de cadenas de suministro, aplicado a cadenas agroalimentarias y el procedimiento de implementación respectivamente contribuyen al desarrollo de las cadenas en la Amazonía Ecuatoriana. Consta de 3 etapas y 11 pasos que integran un grupo de herramientas que facilitan la implementación de la planificación colaborativa y el control a nivel estratégico en las cadenas agroalimentarias, fruto del estudio de 33 modelos y herramientas. La concepción general del modelo se ilustra en la Figura 1, donde el sistema y subsistemas de planificación colaborativa y control de las cadenas agroalimentarias es centro de su desarrollo, con la presencia de otros elementos como la influencia y exigencias del ambiente político-económico-social y del entorno en que se manifiesta la cadena de suministro, las estrategias colaborativas y objetivos conjuntos que persigue la cadena agroalimentaria a partir de la existencia de planificación conjunta, las variables de influencia (nivel de organización de los actores de la cadena) que se encuentran dentro del ámbito de los actores y que pueden determinar el éxito en la aplicación de la planificación colaborativa en la cadena de suministro, las variables sobre las que se impacta directamente en el cliente y el Nivel de Planificación Colaborativa (NPC) con la correcta aplicación de la planificación colaborativa en las cadenas de suministro y las entradas (actores y clientes) y salidas (plan de negocio conjunto) de los elementos del sistema de planificación colaborativa y control de las cadenas agroalimentarias.

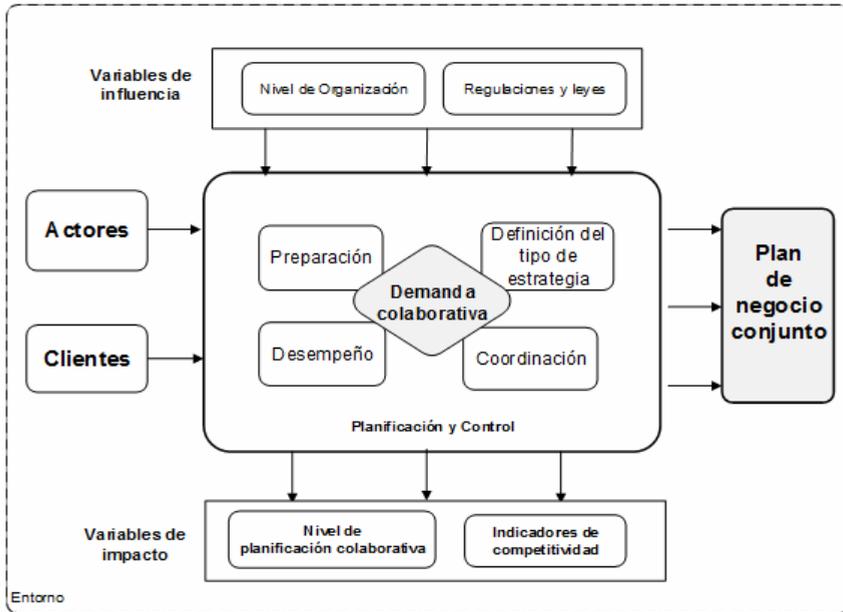


Figura 1
Modelo de Planificación
Colaborativa Estratégica en Cadenas de Suministro (MPCECS)

Fuente: Sablón *et al.* (2016, p.5)

En correspondencia con lo anteriormente expuesto, se definen las premisas, características, principios, objetivos y relaciones del MPCECS. Como premisa se puede considerar la existencia de la planificación en cada actor de la cadena agroalimentaria y el compromiso de la media y la alta dirección, así como de cada actor en la cadena agroalimentaria, con la aplicación del Modelo de Colaboración, cuyos objetivos son determinar el NPC de los actores de las cadenas agroalimentarias, analizar el nivel de integración de la cadena, diseñar tipos de estrategias y objetivos para la planificación colaborativa en las cadenas y formular un plan de negocio conjunto para las cadenas de suministro que incida en la mejora de la competitividad.

Las variables de influencia de la investigación se determinan a través de estudios prácticos a nivel internacional. De la literatura se deriva que las principales variables de influencia son el nivel de organización de los actores de la cadena y las regulaciones y leyes que afecten las decisiones y funcionamiento de la planificación en la cadena agroalimentaria. La primera se refiere a que exista correspondencia entre el desarrollo de la organización entre los actores de la cadena. La segunda, influye en el proceso de planificación de cada actor que pertenece a la cadena de suministro (su funcionamiento) y un cambio de la ley/regulaciones afecta el funcionamiento de la gestión entre los actores. Las variables de impacto se determinan mediante la interrelación entre los problemas de las economías y los indicadores de competitividad. Es válido aclarar que estos indicadores básicos varían en función de las condiciones económicas y sociales de los países donde se aplique el modelo. Se definen las dimensiones de la competitividad en cliente, económica, técnica, mercado, medioambiente, social y financiera (Acevedo & Gómez, 2013).

Como variables de entradas se entienden las entradas del modelo, los clientes y los actores. Se refieren a las necesidades de los primeros y la meta de los segundos por ser competitivos y satisfacer a los anteriores. Las variables de salida y el plan de negocio conjuntos son instrumentos que facilitan la planeación de forma colaborativa entre los actores de una cadena (VICS, 2010). Para el desarrollo de los casos de estudio se siguió la estructura propuesta por el proyecto *BestLog* de la Comisión Europea para el estudio de casos de referencia (Guerola, 2009). La estructura propuesta es: descripción del problema, solución, desafíos (lecciones aprendidas y factores de éxito), y beneficios (económicos, medioambientales y sociales).

3.2 Participantes

Los actores involucrados en esta investigación resultan: La Universidad Estatal Amazónica del Ecuador, la Universidad Tecnológica de La Habana de Cuba, la Universidad Regional Autónoma de los Andes de Ecuador y la Universidad de Matanzas de Cuba. Las cuatro universidades dedicaron horas de trabajo de los investigadores, propiciaron proyectos y posibilitaron el intercambio con los actores de las cadenas para su estudio.

4. RESULTADOS

4.1 Caso de estudio I: Cadena de suministros médicos de salud en una provincia cubana

En el análisis de un sistema nacional de salud se debe tener en cuenta la formación socioeconómica del país. Esto influye considerablemente en los resultados de los indicadores básicos (la mortalidad, morbilidad, esperanza de vida al nacer, Índice de Desarrollo Humano, [IDH] promedio de los tres indicadores mencionados anteriormente) y en la utilización de recursos; donde Cuba es punta en América. La salud es una prioridad, por tanto la mejora del servicio al cliente y la disminución de costos es una consigna nacional.

Las entidades que en una provincia caracterizan la cadena de suministro del sector de salud son: Consultorios, Policlínicos, Hospitales, Crematorios, Cementerios, Suministradores de materiales y utensilios, Operadores logísticos y Empresa de gases medicinales, Electromedicina. Los consultorios médicos, policlínicos y hospitales brindan servicios médicos en función de los niveles de salud. En la provincia de estudio hay 127 policlínicos, 40 farmacias y 11 hospitales, entre otras entidades. Las empresas principales que abastecen las entidades de salud resultan:

- *Comercializador 1*: comercializa de forma mayorista y minorista los recursos no médicos que garanticen el funcionamiento correcto del sistema de salud en la provincia.
- *Comercializador 2*: comercializa material gastable, cristalería de laboratorio clínico, material estomatológico, equipos médicos, recursos para la óptica, piezas, partes y accesorios que se envían a los talleres de electro-medicina.
- *Operador logístico*: garantiza un servicio eficiente de comercialización y distribución de medicamentos, materias primas, reactivos y medios de diagnósticos.
- *Gases industriales y medicinales*: abastece de dióxido de carbono, óxido nitroso y óxido medicinal.
- *Electromedicina*: garantiza de forma sostenida los servicios técnicos a los equipos médicos, piezas de repuesto e instrumental médico.

Los medicamentos comercializados por el operador logístico suman más de 1.000. De ellos 400 son importados y el resto de producción nacional. Las entidades relacionadas con la importación son tres importadores nacionales. Estos actores son los encargados de escoger y contactar a los proveedores que suministran al país las materias primas y productos necesarios para satisfacer la demanda de medicamentos. Posterior a ello se encuentran los proveedores internacionales (China, India, Italia, Roma, España). Un importador incorpora materias primas y productos terminados. El otro importador se encarga de suministrar la resina para la confección de los frascos plásticos, la cual es clasificada como materia prima importada.

La red bajo estudio presenta seis eslabones, los cuales se mencionan a continuación: proveedor, importador, productor, suministrador, cliente uno y cliente final (Figura 2).

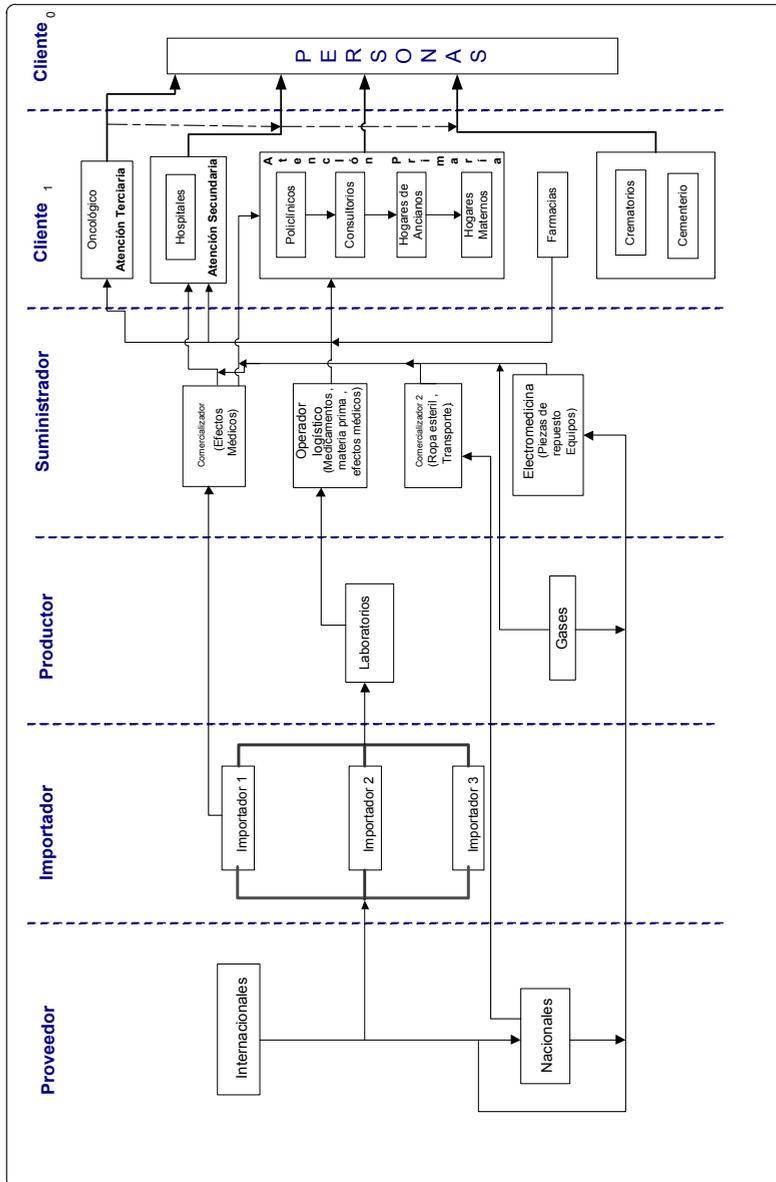


Figura 2
Mapa de cadenas de suministros médicos
Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Descripción del problema

Ausencia de integración entre los eslabones de la cadena de suministros médicos en el sector de la salud en una provincia cubana; tiene como causas principales la descoordinación entre el flujo material, informativo y financiero de la cadena que afecta el nivel de servicio y los costos.

4.1.2 Desafíos

Lograr la integración de los recursos médicos que posibiliten la mejora del nivel de servicio a los pacientes y familiares.

Obtener una cadena de suministro que potencie el ahorro de los recursos financieros, humanos y materiales, con un alto nivel de servicio a los pacientes y familiares.

4.1.3 Solución

La aplicación del MPCECS en la cadena de suministro de salud de Matanzas.

4.1.4 Sensibilización del personal de los actores

La sensibilización del personal de los actores se manifiesta desde abril de 2008 hasta julio de 2012; los resultados se mencionan a continuación:

Se capacita al personal de manera aprendiendo-haciendo en temas relacionados con: mantenimiento hospitalario, administración de recursos materiales y financieros, gestión en la cadena

de suministros, tercerización, gestión del conocimiento, gestión de la demanda de los pacientes, enfoque en procesos logísticos, entre otros.

Se forma al talento humano, y se obtienen 36 másteres en Administración de Empresas, mención Dirección; 21 diplomantes en Dirección y 22 entre Ingenieros y Licenciados. Aunque el personal de la logística, es el menos capacitado debido al nivel escolar, existen necesidades de superación y prioridades de los gerentes en salud. El modelo se aplica de forma parcial.

4.1.5 Definición del plan de negocio conjunto

Se inicia la etapa desde octubre de 2010 hasta julio de 2012.

Organización de la colaboración

Los acuerdos de colaboración se inician con la selección de los productos, en este caso de uso médico indispensables para ofrecer un servicio médico, debido a la complejidad de la asistencia se comienza el estudio por los tangibles referidos. El horizonte de planificación colaborativa es mediano y a largo plazo, de uno a tres años, y no se cumple el principio de ganar-ganar para el conjunto de actores de la red. La colaboración es formal, a través de los contratos que se establecen de forma individual entre dos actores, aunque que no especifican elementos que pueden limitar el nivel de servicio al cliente.

Las responsabilidades de cada actor se identifican; el participante que levanta la demanda y que brinda los servicios hospitalarios a los pacientes y acompañantes en la red en estudio se denomina

cliente uno, y está compuesto por los pacientes y acompañantes que se dirigen a los hospitales, policlínicos, consultorios, farmacias, hogares de ancianos y maternos.

El calendario conjunto de información comienza con un diagnóstico de la información, y se obtiene que esta no se encuentra estandarizada en los diferentes actores, y en ocasiones concurren retrasos de la información. A través de pedidos se intercambia información, y la red presenta un bajo nivel de informatización.

No existe un sistema de información entre los actores de la red, que posibilite la integración de la información para la toma de decisiones (Sablón, Medina, Marques & Martín, 2011), a pesar de que coexisten actores como el operador logístico, que presenta un sistema informático con altas vías de comunicación, y un sistema logístico informatizado (González, 2011).

4.1.6 Demanda conjunta

En la red de recursos médicos no se prevé la demanda del conjunto de clientes uno en función de las enfermedades y trastornos más frecuentes de la población matancera.

Se estiman los recursos médicos con base en el consumo histórico y el nivel de actividad de cada centro de salud, aunque no se aplica ninguna técnica cuantitativa ni cualitativa para el estudio de la demanda, lo que en ocasiones proporciona desabastecimiento de los recursos médicos necesarios para prestar un mejor nivel de servicio.

En ocasiones, para el análisis de los datos no se tienen en cuenta los siguientes elementos: la inestabilidad de los proveedores, el costo de tener un recurso médico no necesario en los almacenes, la no presencia de un recurso médico en el caso de un paciente en específico, ni los altos consumos de algunos insumos debido a la presencia de epidemias. Los distintos actores de la red desconocen las enfermedades y trastornos de la población matancera; debido a ello los procesos de planificación, organización, control y dirección de la red no responden a las necesidades reales de los clientes.

4.1.7 Estrategias conjuntas

Después de la aplicación de la lista de chequeo a los actores de la red, se obtiene el NPC de la red de 0,8 - *Nivel Bajo*, a partir del actor más débil: los comercializadores provinciales presentan el idéntico NPC. La consecuencia fundamental que implica este valor es el aumento del costo de la salud.

Al ubicar el NPC en la matriz de relación entre los niveles de integración y estrategias de planificación colaborativa, la red se sitúa en el primer nivel, negociación, por lo que las estrategias a seguir por la red se enfocan en relaciones de adversarios (compra y venta), y las estrategias enfocadas en nicho, líderes en costo y diferenciación.

Los objetivos estratégicos conjuntos se centran en potenciar la variable reaprovisionamiento colaborativo, y las sub-variables en su conjunto; estas son: compras, proveedores, distribución, gestión del inventario, y la existencia de indicadores para medir el nivel de servicio al cliente.

4.1.8 Coordinación

La red presenta un grupo de actores diversos y un variado grado de desarrollo donde se hace necesaria la mejora en algunos actores para poder colaborar. En la siguiente Tabla 1 se ejemplifican los resultados de la aplicación de la lista de chequeo⁵ para evaluar las empresas que forman la cadena de suministros médicos, de la escala: bajo (1), medio (3) y alto (5).

Tabla 1
Evaluación de la logística de los actores de la red médica del territorio

Actores	Demanda	Proveedores	Compras	Almacén	Distribución	Servicio al cliente	Medioambiente	Evaluación
Operador logístico	5	5	5	5	5	5	5	5
Comercializador provincial A	1	1	1	1	3	1	1	1,29
Comercializador provincial B	1	1	1	1	3	1	1	1,29
Industria	1	1	1	5	5	3	1	2,43
Farmacias	3	3	1	3	-	3	1	2,33
Hospitales	1	3	1	3	-	3	1	2

Fuente: González (2011, p.58)

En la red bajo estudio, el operador logístico (Lopes *et al.*, 2011), presenta un alto grado de desarrollo y los actores restantes se evalúan en un valor bajo.

⁵ Se utiliza la lista de chequeo para la evaluación de la logística del Laboratorio de Logística y Procesos del Instituto Politécnico “José Antonio Echeverría”, del cual la autora de esta investigación es parte.

4.1.9 Lecciones aprendidas

- *Lección 1:* La selección, reclutamiento, formación, capacitación y remuneración del talento humano en los procesos logísticos, limita el desarrollo de las cadenas de suministros de salud.
- *Lección 2:* La filosofía cadena de suministro es una tendencia difícil de asimilar, pero imprescindible para la mejora del nivel de servicio médico a los pacientes y acompañantes.

4.1.10 Beneficios

- *Económicos:* la elevación del aprovechamiento del presupuesto de 0,93 en el 2010, hasta 0,99 en el 2012 impacta en la mejora de los recursos financieros de la red.
- *Sociales:* mejora en la integración de la cadena de suministro, influye en la disponibilidad de los recursos médicos para asegurar un aumento de la tasa de natalidad de un 5,4 % en el 2011 a 4,6 % en el 2012.

4.2 Caso de estudio II: Cadena de suministro comercial, Cuba

La corporación en estudio es una red importadora y exportadora, su estructura está compuesta por divisiones a las cuales se le subordinan las sucursales del país, las bases de almacenes territoriales, los centros de transportes territoriales, los centros de elaboración de alimentos, además de las entidades como: inmobiliaria, marca de belleza, agencia aduanal y una naviera; las que hacen más versátil a la corporación, y en la misma medida aseguran y fortalecen el comercio y la producción en menor medida unido a la prestación de diversos servicios, minorista y mayorista con el objetivo principal que es recaudar capital.

La cadena brinda servicios/productos mayoristas a las distintas empresas radicadas en Cuba; y servicios/productos minoristas. Los anteriores hacen que esté representada en los 169 municipios de todo el país por más de 1.400 unidades de ventas minoristas, organizadas en una red de comercio formada por tiendas, gasolineras de combustible, boutique, otros servicios, puntos de ventas que se encuentran en ocasiones en las zonas aisladas de Cuba.

La red bajo estudio presenta ocho eslabones, los cuales se mencionan a continuación: proveedores, compra, trámites aduanales, almacén, minorista, productores propios, boca de venta y cliente final (ver Figura 3).

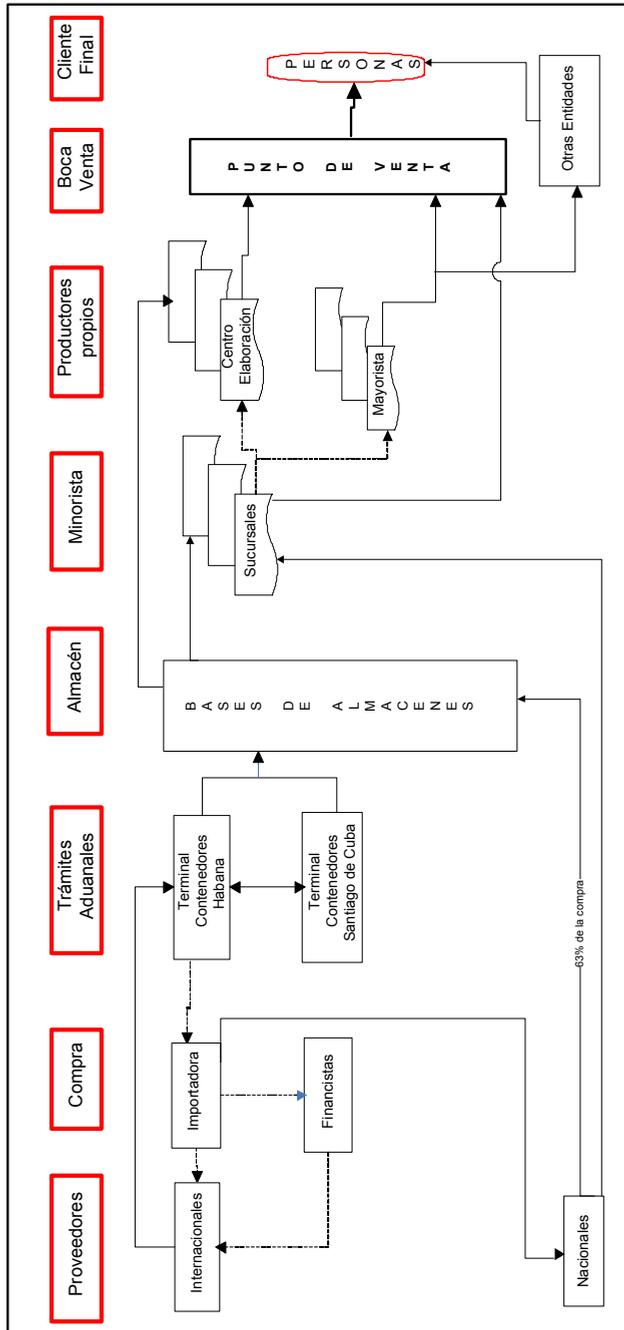


Figura 3
Mapa de la cadena comercial

Fuente: Elaboración propia

La corporación cuenta con bases de almacenes territoriales en el país. En esta investigación se estudia la red en un territorio.

4.2.1 Descripción del problema

Ausencia de integración en la cadena de suministro es el problema principal de la red bajo estudio que se presenta en los diferentes eslabones y actores de la cadena.

4.2.2 Desafíos

Potenciar la integración entre los actores de la red comercial, para brindar un nivel de servicio superior al cliente final de la cadena comercial.

4.2.3 Solución

Respecto a la aplicación del MPCECS en la red comercial, a continuación se explican las etapas y pasos.

La sensibilización del personal de los actores se manifiesta desde marzo de 2009 hasta julio de 2010; estos son los resultados:

Se logra la sensibilidad de algunos actores de la red a través de los resultados de las investigaciones, donde se localizan las principales deficiencias y se dan soluciones aplicables para la mejora de la red.

Se capacita al personal en temas como: las cadenas de suministro, la integración de la red, el impacto del proceso de compras en el nivel de servicio, la trazabilidad de la red, el funcionamiento del sistema informativo, los indicadores de gestión, la contabi-

alidad con base en el costeo basado en actividad, entre otros. El MPCECS se aplica de forma parcial.

4.2.4 Definición del plan de negocio conjunto

Se inicia la etapa desde septiembre de 2011 hasta julio de 2013. A continuación se exponen cada uno de los componentes y sub-componentes que se definen en el plan de negocio conjunto.

Organización de la colaboración

En los acuerdos de colaboración se identifican tanto el tipo de producto como el servicio en que debe colaborar. En este caso particular se utiliza el procedimiento de Sablón, Medina, Acevedo & Martín (2011) para determinar los productos principales según diferentes elementos, los cuales son: departamento de la red que más aporta a los ingresos de la red⁶, productos más vendidos, productos más demandados por los clientes (Expósito, 2011). Los productos que se estudian son: el aceite, la salchicha, el puré de tomate, la leche en polvo, leche condensada, el pollo, espaguetis, hamburguesa, y croqueta.

Después, se mapea la cadena; las fábricas en Cuba se incluyen como proveedores nacionales que representan en su conjunto el 70 % de la compra.

La colaboración es formal, a través de los contratos que se establecen de forma individual entre dos actores, a pesar de que no especifican elementos que pueden limitar el nivel de servicio al cliente (Alfonso, 2011). La gestión en la red se centraliza en

⁶ A pesar de que el Departamento de Combustible es el que más ingresos reporta a la cadena comercial, se escoge el Departamento de Alimento, segundo en importancia, por necesidad de los actores de la red y ser prioridad en el país.

función de las estimaciones de la casa matriz. No se define que cada actor es responsable del intercambio de la información.

El horizonte de planificación colaborativa es mediana y a largo plazo, de uno a tres años, y no se cumple el principio de ganar-ganar para el conjunto de actores de la red.

Las responsabilidades de cada actor se definen como: actor que levanta la demanda, la sucursal de la provincia y en específico los comerciales de la misma. El actor coordinador son los minoristas, debido a que la cadena es de tipo comercial; el NPC es 2,03, el nivel medio, y dentro de la red son los más dispuestos a colaborar.

El calendario conjunto de información se inicia con el estudio de la gestión de la información, donde el tiempo de entrega de los datos se estima en función del programa informático que se utilice, por lo que no es heterogénea la actualización de la información en el tiempo; además esta no se estandariza en toda la magnitud necesaria, lo que dificulta la calidad y rapidez en la toma de decisiones certeras en el tiempo (Sablón, 2011).

Existe una base de datos central, a pesar de ser un sistema abierto como para poder ser utilizado casi en cualquier ámbito; la visibilidad de la información se limita debido al permiso de acceso a la información. Este sistema es de la actividad mayorista, y para determinar los datos de la actividad minorista, se realizan diferentes reportes, de forma difícil para analizar los resultados. A la vez, este programa alimenta otros programas informáticos de la red, los cuales se explican en Veiga (2010).

En el 2013, se comienza el desarrollo de un programa que integra la información del sistema base en pantallas de fácil acceso a los

procesos de la comercialización, como herramienta de apoyo a la toma de decisiones; integra en un portal único los distintos procesos de negocio que se interrelacionan entre sí, y facilita la toma de decisiones. Ofrece un seguimiento de cada uno de los procesos de negocio desde su etapa de planificación hasta la evaluación mediante indicadores, cuadros de mando y emisión de boletines. El sistema se encuentra en desarrollo en estos momentos, y el prototipo se puede ver en la Figura 4.



Figura 4
Portal inicial del programa de colaboración
Fuente: Piad (2013)

4.2.5 Demanda conjunta

Con el objetivo de prever requerimientos futuros se utiliza el procedimiento de la gestión de la demanda colaborativa, a pesar de que no se intercambian los valores de la demanda con los otros actores de la red, si analizan los diferentes factores según los distintos actores que pueden influir en la previsión de la demanda. Se muestran los resultados en la investigación de

Expósito, (2011). Se realiza el estudio de la demanda con enfoque cualitativo y cuantitativo, se analizan los factores internos y externos que inciden en la demanda, se identifican los escenarios más probables⁷, se estudian las situaciones competitivas y se calcula el pronóstico de la demanda.

Se ejemplifica la estimación de la demanda de un producto, el aceite. El escenario más probable en que se desarrolle la demanda es en los cuentapropistas y que la producción nacional debe garantizar las producciones, con una probabilidad de 0,52 y 0,51 respectivamente.

4.2.6 Estrategias conjuntas

Después de la aplicación de la lista de chequeo a los actores de la red, se obtiene el NPC de la red de 1,79, nivel medio, a partir del actor más débil; son los puntos de ventas (Quiñones, 2013).

Al ubicar el NPC en la matriz de relación entre los niveles de integración y estrategias de planificación colaborativa, la red se sitúa en los niveles III y IV, cooperación y coordinación respectivamente. Pero en el caso de estudio, se localiza en la cooperación, debido a que existe débil intercambio de información entre los actores de la red, por lo que las estrategias a seguir por la red se enfocan en pocos proveedores y contratos a largo plazo.

Los objetivos estratégicos conjuntos se centran en potenciar la variable pronóstico de la demanda, y en específico la sub-variable pronóstico de la demanda, por ser la menor cuantía. La cadena bajo estudio es de tipo comercial, por lo que la gestión de la demanda debe ser el principal objetivo de la red.

⁷ Mediante la clasificación de escenario deseable, tendencial, referencia y contrastado. Se identifica a través del software Smic-Prob-Expert, mediante la probabilidad de ocurrencia de los escenarios.

4.2.7 Desempeño conjunto

En este caso, se mide el valor de disponibilidad del producto alimenticio, puré de tomate en la boca de venta a los clientes finales. En el 2011 y el 2012 el comportamiento del indicador es de 72,8 y 81,4 % de presencia para la venta respectivamente. En cuanto a la variedad del producto, se estima disminución de un 65,7 a un 40,2 % de variedad de 2011 al 2012.

4.2.8 Lecciones aprendidas

Lección 1: si la cadena de suministros no se institucionaliza en la isla, depende de los intereses y la voluntad del talento humano y su perfeccionamiento.

Lección 2: el desarrollo de la integración de las cadenas de suministro comerciales se encamina de forma parsimoniosa y no en relación a las necesidades de los clientes.

Lección 3: la selección y reclutamiento del personal para procesos básicos, como la gestión de la demanda en la red, imposibilita el impulso del enfoque en el cliente.

4.2.9 Beneficios

Económicos: la elevación de los ingresos de 2009 al hasta 30 % en el 2011 que impacta en la mejora de los recursos financieros de la red.

Sociales: si mejora la integración en cadena de suministro aumenta el nivel de servicio al cliente y favorece la satisfacción en mayor medida de la disponibilidad de los productos para la venta a la población.

4.3 Caso III: Cadena agroalimentaria de panela, Puyo, Ecuador

La panela se utiliza habitualmente como edulcorante completamente natural en la elaboración de postres y bebidas tradicionales. La cadena bajo estudio presenta cuatro eslabones: proveedores, productores, venta y cliente final. Los ocho actores en relación a los cuatro eslabones, las variedades de panelas que se producen en función de la concentración y el color del producto. Los tangibles no presentan marcas registradas, por lo que no se garantiza la calidad del producto, los envases y embalajes se realizan de forma artesanal y debido a la alta humedad del clima se necesitan productos sin oxígeno para que no fluyan las bacterias y hongos (ver Tabla 2).

Tabla 2
Descripción de las pymes de la cadena de panela del Puyo

Nombre de la empresa	Sector	Tiempo de elaboración y duración de la panela	Costo del producto	Lugar donde se vende el producto	Tiempo de durabilidad del producto
Empresa	Servicios (Alimentación)	11 horas	0.9 \$/Kg	Quito y Ambato	1 mes
Asociación agroindustrial de la caña de azúcar	Servicios (Alimentación)	12 horas	0.96 \$/Kg	Coca, Lago Agrio, Puyo y Shushufindi	1 mes
La Florencia	Servicios (Alimentación)	7 horas	0.7 \$/Kg	Quito, Baños y Ambato	1 mes
Finca familiar 1	Servicios (Alimentación)	10 horas	0.8 \$/Kg	Puyo y Ambato	3 semanas
Finca familiar 2	Servicios (Alimentación)	11 horas	0.9 \$/Kg	Baños y Ambato	3 semanas
Finca familiar 3	Servicios (Alimentación)	9 horas	0.9 \$/Kg	Puyo y Baños	3 semanas
Finca familiar 4	Servicios (Alimentación)	10 horas	0.92 \$/Kg	Quito, Baños y Ambato	1 mes
Finca familiar 5	Servicios (Alimentación)	12 horas	0.92 \$/Kg	Puyo y Quito	3 semanas

Fuente: Elaboración propia

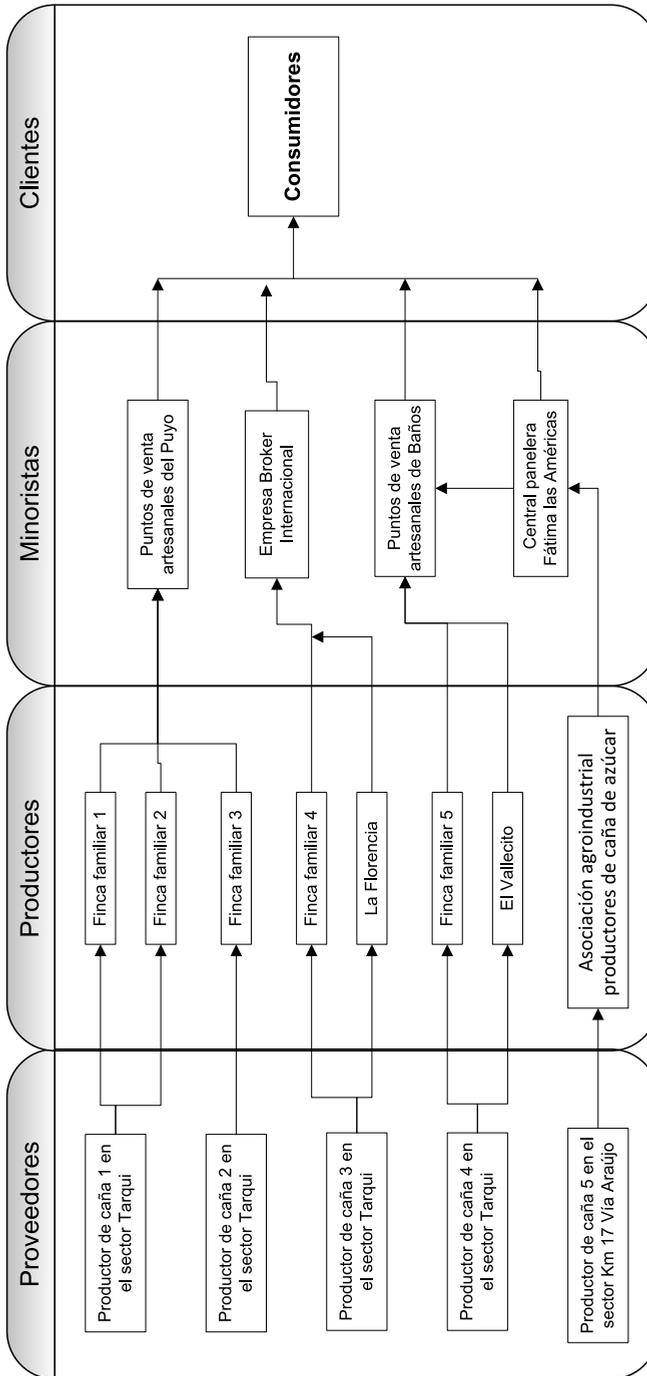


Figura 5
Mapa de la cadena de suministros de la panela en Puyo

Fuente: Elaboración propia

Los proveedores de la cadena de estudio, productores familiares de caña de azúcar orgánica, se dedican a la siembra de caña en el sector Tarqui y kilómetro 17 vía Araújo. La variedad de caña que se cosecha es la limeña y la cristalina, principalmente por las características propias del suelo y clima del Puyo. Algunos productores se unifican a la Asociación Agroindustrial de Productores de Caña de Azúcar, y el resto labora en fincas familiares de forma artesanal. Al concluir el producto, panela o raspadura, se distribuye en vehículos variados y sin las condiciones básicas de transporte de alimentos a los puntos de venta del Puyo, Baños y a la Central Panelera para ser consumida por los clientes. Además, donde se produce la panela es en la ciudad del Puyo, y la ciudad que se conoce por este producto es Baños. Se realiza el mapa de la cadena de estudio (Figura 5).

4.3.1 Resultados del NPC en la cadena de suministro de panelas del Puyo

Se aplica la lista de chequeo a los actores de la cadena de suministro; se obtienen los resultados del NPC de cada actor en estudio (figura 4). La lista de chequeo es válida y fiable, porque el Alfa de Cronbach tiene un valor de 0,81 (mayor que 0,5) y la correlación ítems total es mayor que 0,4 en los ítems. El menor valor del NPC es el de 1,96 de los actores de la finca familiar 1 y el Vallecito, siendo un *nivel bajo*; y el valor de NPC más elevado de 2,87 es de la Asociación Agroindustrial de la Caña de Azúcar, siendo de un *nivel medio*. Los valores del NPC del total de actores de la cadena de suministro manifiestan *un nivel bajo* (ver Figura 6). El color negro de las barras, significa los valores más bajos del NPC y el rojo el valor más alto del NPC en la cadena.

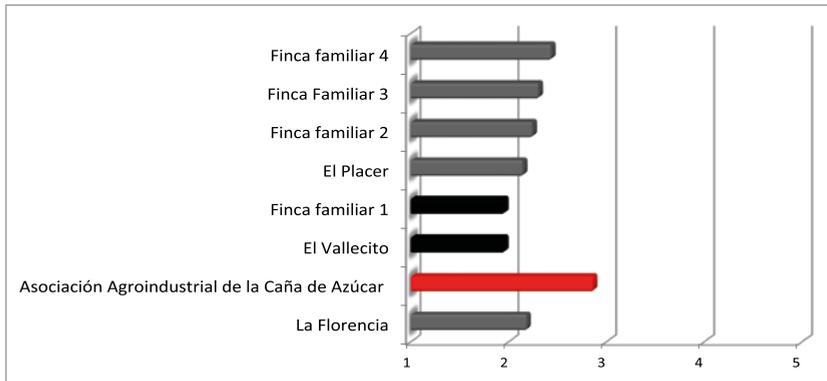


Figura 6
Resultado del NPC de cada actor en la cadena de panela en el Puyo
Fuente: Elaboración propia

La variable de mayor peso, según los criterios de los actores y los resultados del Método Analítico Jerárquico, es la demanda conjunta. La variable de mayor deficiencia es la planeación colaborativa, que incide en que el desempeño colaborativo y el pronóstico colaborativo presenten debilidades. Al relacionar el NPC y la etapa de integración, la cadena en estudio se encuentra en la etapa de negociación. Por tanto, las estrategias respectivas se enfocan en: liderazgos en costos, diferenciación, enfoque o nicho y la relación como adversarios (ver Figura 7). En este caso particular, no se encuentran en la etapa de asociación porque no se relacionan como ningún tipo de gremio.

Niveles de integración	Asignación I	Negociación II	Asociación III	Cooperación IV	Coordinación V	Colaboración VI
NPC	1	2	2	3	4	5
Tipos de estrategias	Asignación de recursos	Discusión enfocada a liderazgos en costos, diferenciación, enfoque o nicho	Unen bienes en procesos críticos por fin solo económico u otro interés	Contratos a largo plazo	Conexión vía TIC	Integración de la cadena de suministros
		Relación como adversarios		Pocos proveedores		Compartir información

Figura 7
Selección de la estrategia en función en correspondencia con el nivel de integración y NPC
Fuente: Elaboración propia

En el caso de estudio se sugiere que los tipos de objetivos estratégicos conjuntos se centren en potenciar la satisfacción de los clientes para que alcancen el mercado o su segmento en forma de grupos de clientes en relación a un producto o servicio. Por otro lado, considerar la amplitud del mercado a través del aumento de las cuotas. En relación con la competitividad se necesita mejorar la integración de la cadena de suministro con un alto NPC.

Con los resultados analizados, se comprueba que la planificación colaborativa en la cadena de suministros de la panela es baja, y que se debe centrar en el desarrollo del producto final (panela) para incidir en la demanda. Para lograr la satisfacción de los clientes los actores de la cadena de suministro de panela deben utilizar un instrumento que permita la planeación colaborativa entre todos, el plan de negocio conjunto (ver figura 8). Debido a que se necesita el intercambio de información en la producción y comercialización del producto, de planes entre productores, que los productores y proveedores conozcan la satisfacción de los clientes finales, y así, contribuir a la mejora de la calidad, cantidad y precios del producto.

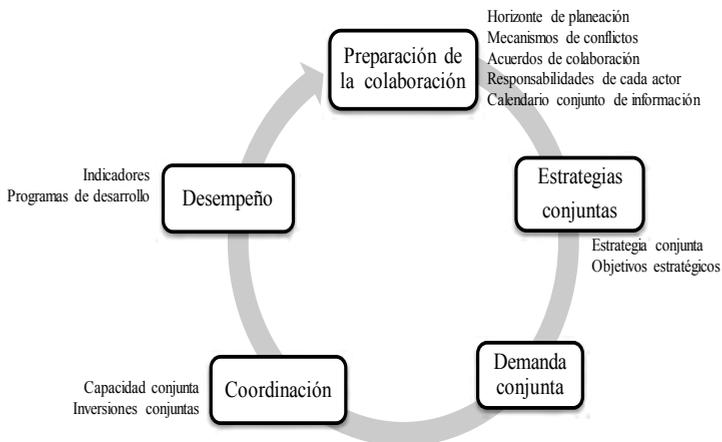


Figura 8
Propuesta de un plan de negocio conjunto
Fuente: Elaboración propia

En el entorno de la planeación colaborativa de una cadena de suministro se necesita un instrumento que propicie el trabajo común entre los actores y defina el rol de cada uno en la cadena: el plan de negocio conjunto, un elemento que proporciona la coordinación de la planeación colaborativa en la cadena de suministro, el cual pudiera ir aparejado a una empresa virtual, en la que los actores serían los socios que integran la cadena de suministro.

5. DISCUSIÓN

Existe gran variedad de definiciones del término planificación colaborativa, por lo que en este capítulo se delimita como una herramienta para alinear los planes estratégicos de cada actor a la planeación estratégica conjunta de la cadena, expresada en un plan de negocio conjunto que refleja las estrategias y objetivos colaborativos de la cadena con respecto al mercado y la parte social, donde se define la demanda conjunta, las capacidades a asegurar y la información a intercambiar para lograr la competitividad de la cadena de suministro, en función de brindar un alto nivel de servicio a los clientes finales, donde la demanda conjunta es la de los consumidores o clientes finales y su derivación a cada actor de la cadena de acuerdo a las relaciones tecnológicas y aporte que asume cada uno. A partir del incremento en las demandas de nivel de servicio de los consumidores, es necesario potenciar la competitividad en la cadena de suministro.

Comenzando con el estudio bibliográfico, se constata la ausencia de una herramienta integral y un modelo para evaluar la planificación colaborativa en las cadenas de suministro, esto incide en el desconocimiento de los problemas y las oportunidades de mejoras para la implementación de la filosofía. Tampoco se

facilita la identificación de las debilidades y fortalezas existentes, de forma que al potenciar las fortalezas y reducir las debilidades se contribuya al perfeccionamiento de la planificación conjunta y a la elevación de la satisfacción del cliente. A partir de estas carencias identificadas y con base en las variables que establece la VICS (2010), se define el grado de planificación colaborativa en la cadena de suministro a través de la medición del NPC, como resultado de la lista de chequeo, y se desarrolla el procedimiento de aplicación del modelo.

A partir de esto, se aplican a varias cadenas donde los resultados concuerdan en la necesidad de entrenar y capacitar de manera continua al talento humano de cada actor para fomentar las competencias de integración (colaboración). A pesar de las naturalezas distintas de las cadenas de estudio coinciden en que el nivel de integración influye en la satisfacción del cliente final, y por ende en su competitividad. Se demuestra que el modelo y su procedimiento se pueden utilizar para diferentes tipos de cadenas, y se proyecta su aplicación de manera sistemática para la generalización de la investigación.

6. CONCLUSIONES

La aplicación, total o parcial, del MPCECS y el procedimiento general en las cadenas de suministro objetos de estudio, permite demostrar que los instrumentos metodológicos propuestos son útiles y válidos para perfeccionar la integración de la cadena a través de la planificación colaborativa, se apoya en la medición del NPC y en la selección de los tipos de estrategia adecuadas de planificación colaborativa, lo cual revela la aplicabilidad del plan de negocio conjunto y el impacto en la mejora del nivel de servicio al cliente.

La presente investigación sobre modelo de planificación colaborativa estratégica en cadenas de suministro estuvo motivada por la necesidad de formular una definición general de los elementos que caracterizan la planificación colaborativa de la cadena de suministro que limitan la determinación del grado de colaboración. La herramienta propuesta permite identificar las debilidades y fortalezas como medio para su mejora en la cadena de suministro mediante una filosofía de colaboración.

Esta investigación presentan un valor social, por la contribución a la mejora del nivel de servicio al cliente, un valor práctico, por la creación de una herramienta que posibilita la conjugación de los planes conjuntos de los actores de una cadena, y valor docente-metodológico, por el enriquecimiento de los conocimientos de la asignatura de cadena de suministro.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, J. A. & Gómez, M. I. (2013). *Algunos elementos de la gestión económico-financiera de la empresa en el marco de la actualización del modelo económico cubano*. La Habana, Cuba: Apuntes para el Diplomado de la Escuela de Cuadro.
- Alfonso, A. (2011). Análisis de la gestión de proveedores de la Sucursal CIMEX. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Ali, M. M., Babai, M. Z., Boylan, J. E. & Syntetos, A. A. (2017). Supply chain forecasting when information is not shared. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 984-994. doi:10.1016/j.ejor.2016.11.046
- Balloud, R. H. (2004). *Logística: administración de las cadenas de suministro*. (Quinta Edición ed.). México: Pearson Educación.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J. & Bixby, M. (2002). *Supply Chain Logistic Management*. Michigan, USA: McGraw-Hill-Higher Education.

- Bozarth, C. (2011). *References: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)*. Recuperado desde: <http://scm.ncsu.edu/scm-professionals>
- Calle, A., Barinaga, A. & Gietz, J. C. (2016). La colaboración como estrategia en la cadena de suministro: una visión metodológica. *Dyna Management*, 4(1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.6036/MN7809>
- Expósito, L. (2011). Estudio de la gestión de demanda en la Sucursal CIMEX Matanzas. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Fernández, G., Aguilar, A., Martínez, G., Ruvalcaba, M., Correa, J. G. & Martínez, J. L. (2015). Contexto y caracterización de la cadena de suministro del Limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Veracruz, México. *Revista Conciencia Tecnológica*, (50), 21-31.
- González, Y. (2011). Análisis de la cadena de suministro en el sector de la salud en el territorio matancero. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Guerola, S. (2009). *Siemens e-integration. BestLog Good Practice Cases*. Recuperado desde: http://www.bestlog.org_index.php_eID=tx_nawsecuredl&u=1100&file=uploads_tx_bestlogorg_bestLog_best_practice_Siemens_e-integration.pdf
- Harrison, A. & Hoek, R. V. (2005). *Logistic Management and Strategy*. England: Prentice Hall.
- Hernández, J. (2011). Propuesta de una arquitectura para el soporte de la Planificación de la Producción Colaborativa en Cadenas de Suministro tipo árbol. *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Kumar, G., Banerjee, R. N., Meena, P. L. & Ganguly, K. K. (2017). Joint planning and problem solving roles in supply chain collaboration. *IIMB Management Review*, 29(1), 45-57. doi:10.1016/j.iimb.2017.03.001
- Lopes, I., González, R., Prado, M., Jardines, J. C., Salazar, Y., Rodríguez, V. & Castillo, G. (2011). Cadena de suministro de medicamentos. *Nueva empresa, gestión empresarial en Cuba nueva etapa*, 7(3), 30-35.

- Maliah, S., Shani, G. & Stern, R. (2017). Collaborative privacy preserving multi-agent planning: Planners and heuristics. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 31(3), 493-530. doi:10.1007/s10458-016-9333-9
- Martínez, J., Cardeño, E., Ramírez, W. & Durán, S. (2017). Liderazgo transformacional como estrategia de adaptación en la gestión logística empresarial. *Desarrollo Gerencial*, 9(2), 140-157.
- Oppenheimer, A. (2013). *La próxima Revolución Industrial*. Recuperado desde: <http://www.lanacion.com.ar/1603506-la-proxima-revolucion-industrialclaves-americanas>
- Piad, D. (2013). Aplicación para la planificación colaborativa en las cadenas de suministro. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Pires, S. & Carretero, L. (2007). *Gestión de la cadena de suministro*. (Primera edición). España: McGraw-Hill Interamericana.
- Quiñones, M. (2013). Análisis de la planificación colaborativa en la cadena de suministro del Puré de Tomate. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- Render, B. & Heizer, J. (2004). *Principios de Administración de operaciones*. (Quinta edición). México: Pearson Educación.
- Ribas, I. & Companys, R. (2007). Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro: Contexto determinista e incierto. *Intangible Capital*, 3(3). 91-121.
- Sablón, N. (2011). *Estudio de la gestión de la información en algunos eslabones de una cadena de suministro comercial en Cuba. Aplicación en empresas del territorio matancero*. La Habana, Cuba: X Taller Nacional de Actualización e Intercambio de Experiencias en Ciencias, Tecnologías, Gestión de la Información y Gestión del Conocimiento de los Polos Científicos (Infopolo).
- Sablón, N., Acevedo, J., Rosell, J., Medina, A., Urquiaga, A., Pérez, M. & Bautista, H. (2016). Modelo de planificación colaborativa estratégica de cadenas de suministro. *DYNA Management*, 4(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.6036/MN7839>

- Sablón, N., Martínez, J. L., Acevedo, J. A. & Acevedo, A. J. (2017). El plan de negocio conjunto, herramienta que facilita la planificación colaborativa en la cadena de suministro. *Uniandes Episteme: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 117-134.
- Sablón, N., Medina, A., Acevedo, J. A. & Martín Marrero, A. (2011). *Demanda como factor clave de la gestión de la cadena de suministro comercial*. V Convención Internacional de la Universidad de Matanzas, Cuba.
- Sablón, N., Medina, A., Marques, M. & Martín, A. (2011). *Mejora de las instituciones hospitalarias mediante la gestión de la cadena de suministro*. VIII Conferencia Nacional de Gestión Empresarial y Administración Pública. Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- Schwab, K. (2015). *World Economic Forum. The Global Competitiveness Report*. Recuperado desde: http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf
- Singh, R. & Shabani, A. (2017). Value-Adding Practices in Food Supply Chain: Evidence from Indian Food Industry. *Agribusiness*, 33(1), 116-130. doi:10.1002/agr.21478
- Stadler, H. & Kilger, C. (2008). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. (4th Edition ed.). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Veiga, R. (2010). Diagnóstico de la información y la comunicación en la gestión logística de la Sucursal CIMEX Matanzas. *Trabajo de Grado*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba.
- VICS (2010). *Linking CPFR and S&OP: A Roadmap to Integrated Business Planning*. Recuperado desde: www.vics.org

Cómo citar este capítulo:

Sablón Cossio, N., Acevedo Suárez, J. A., Pérez Quintana, M. & Acevedo Urquiaga, A. J. (2018). Modelo de planificación colaborativa estratégica en cadenas de suministro. Casos de estudio. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.75-114). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Modelo conceptual y ruta para implementar un sistema de gestión integral QHSE3+ en pymes

PEDRO PABLO POVEDA-ORJUELA¹

J. CARLOS GARCÍA-DÍAZ²

GERMÁN CAÑÓN-ZABALA³

1 ASTEQ Technology S.A.S., Colombia.

pppoveda@gmail.com

2 Universitat Politècnica de València, España.

juagardi@eio.upv.es

3 QUARA Technology, Colombia.

gcanonz@quaragroup.com

RESUMEN

La alta vulnerabilidad de las pequeñas y medianas empresas (pymes) hace evidente la necesidad de ofrecer a los emprendedores un modelo, que bajo un enfoque básico de riesgos, permita conocer, apropiarse y aplicar Buenas Prácticas en la Planificación, Operación, Control y Mejora de sus negocios, para contribuir en su éxito sostenible. Los autores presentan un Modelo Conceptual y la Ruta de Planificación e Implementación de Sistemas de Gestión Integral, que conjuga Buenas Prácticas relacionadas con: i) Los Ciclos de Gestión de Riesgos Estratégicos y Operacionales, ii) La Efectividad y Éxito Sostenible del Negocio pymes en el Manejo de sus Procesos. El modelo y las herramientas que soportan su implementación han sido configuradas a partir del enfoque de Diseño Sistémico, con aplicaciones piloto que permitieron la realimentación y validación preliminar, con resultados positivos que ratifican 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 Calidad, Seguridad y Salud en el Trabajo, Afectación al Medioambiente, y/o de Desempeño Energético, según sea el caso. Las valoraciones en campo hacen evidente que con su aplicación es posible disminuir la vulnerabilidad global en magnitudes entre el 15 % y el 23 %, que pueden llegar a representar cifras mayores de reducción de costos. Las Buenas Prácticas conjugan el cuerpo del conocimiento de ISO 31000:2009 y de los referenciales de Calidad Q/ISO 9001:2015, Salud y Seguridad HS/ISO 45000:2016, Medioambiente E/ISO 14001:2015, Eficiencia Energética E2/ISO 50001:2001, u otras componentes de riesgo, ligadas al acrónimo QHSE3+.

Palabras clave: sistema integral de gestión, gestión del riesgo, buenas prácticas, gestión integral, eficiencia energética.

ABSTRACT

The high vulnerability of Small and Medium Enterprises (SMEs) makes evident the need to offer entrepreneurs a model that under a basic risk approach allows to know, to appropriate and to apply Good Practices in the Planning, Operation, Control and Improvement of their businesses, to contribute in its success sustainable. The authors present a Conceptual Model and the Route of Planning and Implementation of Integral Management Systems, which combines Good Practices related to: i) Cycles of Strategic and Operational Risk Management, ii) The Effectiveness and Sustainable Success of the SMEs business in the Management of their Processes. The model and the tools that support its implementation have been configured from the Systemic Design approach, and pilot applications that allowed the feedback and preliminary validation, with positive results that ratify the utility and importance of making available to the entrepreneurs a Model with Basic Tools for Planning and Integral Management of Risks affecting Quality, Health and Safety, Environment, Resources and/or Energy Performance, as the case may be, and which demonstrate with field assessments, that with the Model, it is possible to decrease the global vulnerability in magnitudes between 15 % and 23 %, which may represent larger figures of cost reduction. The Good Practices combine the body of knowledge of ISO 31000:2009 and of the references of Quality Q/ISO 9001:2015, Health and Safety HS/ISO 45000:2016, Environment E/ISO14001:2015, Energy Efficiency E2/ISO 50001:2001, or other risk components, linked to the acronym QHSE3+.

Keywords: integrated management system, risk management, good practices, integrated management, energy efficiency.

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, con diversos patrones 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, en donde se destacan la siguiente problemática y causas asociadas (Poveda, García-Díaz, & Hernandis, 2016; Poveda, García-Díaz, & Cañón-Zabala, 2017).

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 estas empresas, 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.

La inexistencia de redes solidarias para la incubación de empresas y el desarrollo estratégico regional focalizado en los emprendedores de pymes de los sectores vulnerables.

El bajo nivel de integración del Estado, la academia, los gremios, las empresas y los emprendedores de los sectores vulnerables.

La problemática 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 la crisis sostenida 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 pymes (CEE, 2003), a partir de la configuración de un modelo para planificar e implementar, sus Sistemas de Gestión Integral (QHSE3+), con perspectiva de rendimiento energético, como se puede apreciar en la Figura 1 que aplica la metodología del marco lógico en la formulación del proyecto de investigación (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, [CEPAL], 2005).

En efecto, con la aplicación de esta metodología se ubica el problema en el centro, como tronco del árbol, su impacto como ramas y hojas, y sus causas como raíces. Esto es, mediante la analogía con el árbol, se ha considerado la elaboración de un diagrama, en el que el tronco es el problema central, las ramas los efectos primarios y secundarios, y las raíces las causas principales y secundarias. Podemos decir en la mayoría de casos, que hay problemas causa y problemas efecto, y también que puede haber causas directas, indirectas o causas de causas. De esta manera se tiene un mecanismo que centra el análisis en la definición neural del problema, que se convierte, al colocarlo 'en negativo', en el objetivo que hemos acabado de plantear.

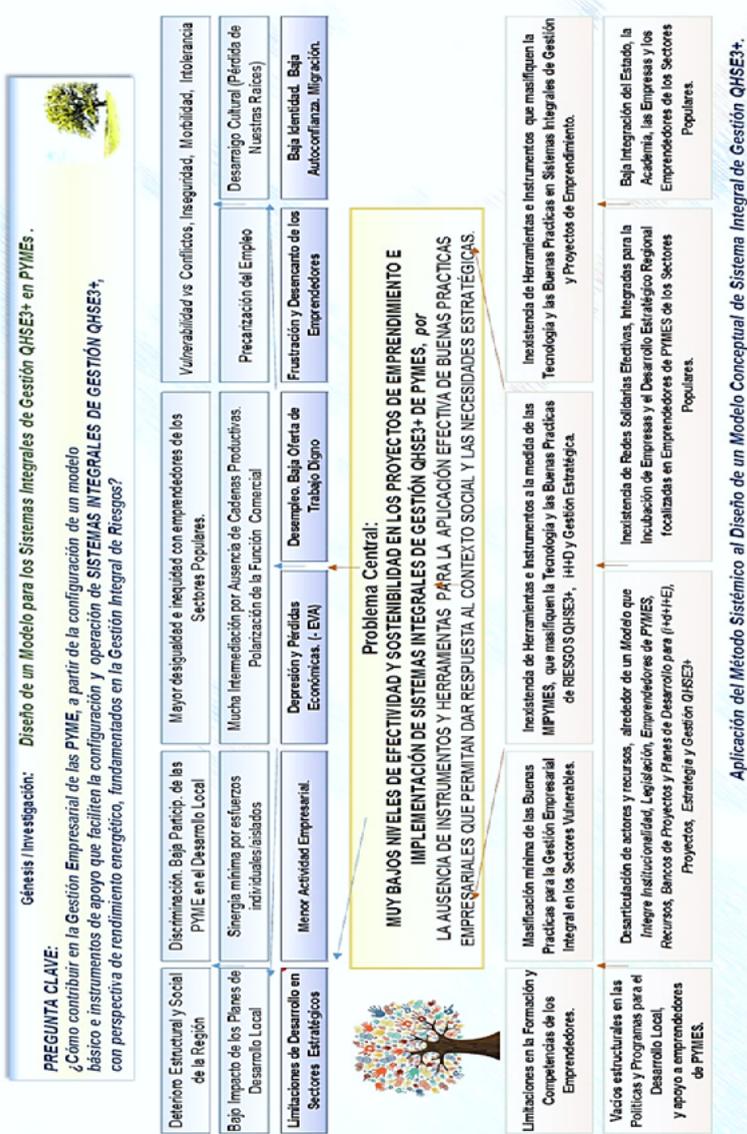


Figura 1
Árbol del problema objeto del proyecto de investigación
 Fuente: Elaboración propia

Dicho de otra manera, al colocar el problema en positivo, el tronco señala el objetivo central (la solución del problema), las ramas estarían asociadas a los indicadores clave que pueden valorar el impacto de la investigación, en tanto que las raíces estarían relacionadas con acciones clave o entregables que se convierten en los productos objeto del proyecto, que materializan la solución.

Lograr el objetivo antes expuesto implica integrar y traducir en un modelo básico con herramientas a la medida y al alcance de los emprendedores de las pymes, las Buenas Prácticas para la Gestión Integral, 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, a las que para abreviar, en adelante se hará referencia como 9k, 14k, 45k, 50k y 31k, teniendo en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Lograr disponer de 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.
- 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.
- Configurar el modelo del Sistema Integrado de Gestión QHSE3+ y las herramientas para propiciar su planificación, implementación, operación y mejora en las pymes, y ponerlas a disposición del público en general, de tal manera que sea posible reducir de manera significativa los niveles de vulnerabilidad de los negocios.

2. MÉTODO

2.1 Diseño del modelo

En la medida en que los esfuerzos de este trabajo se focalizaron en el aporte al esfuerzo emprendedor y el éxito sostenible de las pymes, la metodología de trabajo conjugó la aplicación del método sistémico al diseño y configuración de un modelo básico para la planificación, operación, realimentación y mejora de los sistemas integrales de gestión, fundamentado en la gestión integral de riesgos (Cervera, 2013; Poveda & Cañón, 2015; Pulido-Rojano, 2015; Pulido-Rojano & Bocanegra-Bustamante, 2015), con la aplicación de las buenas prácticas contenidas en las normas internacionales relacionadas con los componentes QHSE3+.

Por otra parte, en el diseño de la investigación 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, a partir del acercamiento retrospectivo al problema y el estudio de casos individuales, mediante diagnósticos, sondeos y observación directa.

Esta perspectiva puede apreciarse en la Figura 2, donde –aplicando el enfoque general del diseño sistémico– se considera el trabajo de investigación como un sistema o una caja negra con sus respectivas entradas y salidas, que tiene como elemento dinamizador la conciencia asociada a la identificación de la necesidad y la definición del problema, y como sistema exterior que le genera entradas, la conjugación de:

El análisis del entorno y el estudio del estado del arte, aplicable al ámbito de la condición y desarrollos en las pymes, al diseño de

modelos conceptuales sobre sistemas de gestión y negocios de emprendimiento, y los avances en cuanto a referenciales ligados al acrónimo QHSE3+, desde los diferentes comités de ISO y sus revisiones actualmente en curso.

Los requisitos aplicables a los negocios pymes, los recursos potenciales para el proyecto, y la interacción desde la consultoría y la docencia con empresas pymes y organizaciones que las vinculan en la región y/o en su área de influencia.



Figura 2

Enfoque general de la aplicación del enfoque sistémico al diseño del modelo

Fuente: Elaboración propia

El sistema genera como salidas el modelo conceptual propiamente dicho, con la configuración detallada de cada uno de sus componentes, el enfoque de operación y lógica de funcionamiento del mismo sistema, y el conjunto de instrumentos y herramientas para la planificación del proyecto de implementación, y para la planificación directiva y operacional, al igual que para su puesta a punto, realimentación y validación preliminar.

2.2 Configuración de los instrumentos para el diagnóstico e implementación del sistema de gestión integral QHSE3+

Con la experiencia acumulada como fundadores y consultores de las firmas ASTEQ Ltda., ASTEQ Technology y Quara Technology, los autores desarrollaron dos tipos de instrumentos para la realización del diagnóstico, que fueron validados de manera retrospectiva y en aplicaciones particulares en empresas:

Mediante listas de chequeo y fichas fundamentadas en los siete principios fundamentales de gestión, vistos desde una perspectiva integral y con aplicación a cada componente de riesgos QHSE3+.

Con listas de chequeo que retoman la totalidad de requisitos de cada referencial ISO 9001, 14001, 45001 y 50001, en sus últimas revisiones, dejando una base para integrar requisitos comunes bajo el esquema de la estructura de alto nivel (HLS, por sus iniciales en inglés), definida por ISO para determinar los capítulos que obligatoriamente deben tener en adelante las normas que establezcan requisitos sobre los sistemas de gestión.

En lo relacionado con la implementación, para la planificación directiva y operacional, se desarrollaron protocolos básicos, documentos de carácter pedagógico, fichas, guías de interpre-

tación y la referencia a bancos de información de apoyo con el propósito de establecer:

Los mapas de procesos y la determinación de los requisitos de cada referencial, aplicables a cada proceso, y los instrumentos para la configuración y administración del proyecto de implementación del SGI-QHSE3+.

El direccionamiento estratégico de los negocios pymes, considerando el contexto, los riesgos y las oportunidades asociados a las líneas de negocio, y la formulación de los objetivos, proyectos e indicadores respectivos.

Los planes de control operacional, seguimiento, medición, análisis y evaluación de los procesos, fundamentados en sus riesgos relevantes asociados a las componentes QHSE3+, según sea el caso. Esto incluye la realimentación de auditoría y la revisión gerencial del sistema.

2.3 Participantes

Los autores del presente documento se integraron a través de la gestión de consultoría y docencia de las firmas antes mencionadas y, además, en el marco de la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia, España considerando la aplicación retrospectiva de instrumentos desde la revisión de las normas ISO sobre sistemas de gestión ambiental y de calidad del año 2000, con proyectos de consultoría y acciones de formación en empresas y grupos de posgrado en el Caribe colombiano, Centroamérica, Perú y Ecuador. De esta manera fue posible aplicar y validar el enfoque metodológico y los principios que fundamentan las herramientas clave para la revisión de 2015 y 2016, en empresas del sector farmacéutico, alimentos, manufactura, ingeniería y servicios.

2.4. Procedimientos

Como se puede observar en las Figuras 2 y 3, las fases de la metodología aplicada para arribar al modelo y a las herramientas que direccionan su aplicación, tuvo la siguiente secuencia:

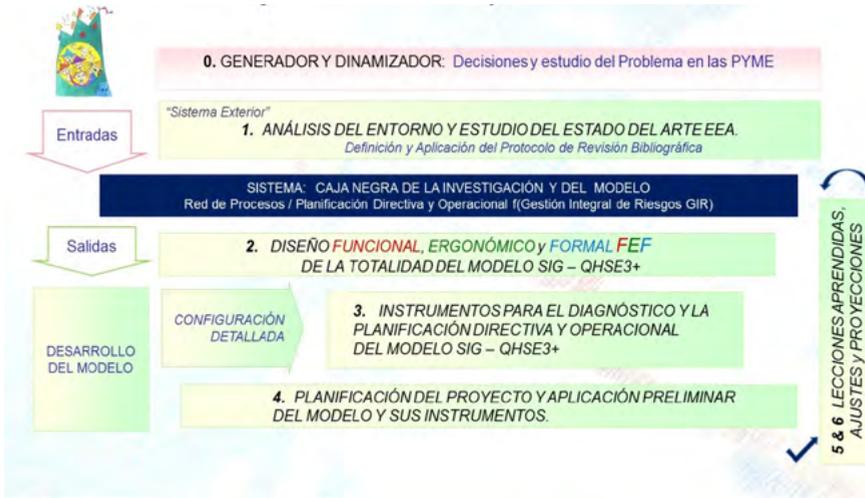


Figura 3
Etapas de la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación
Fuente: Elaboración propia

2.4.1. Estudio sistemático del estado del arte y la literatura

El estudio sistemático del estado del arte y la literatura ha considerado la definición de temas, subtemas, y preguntas clave para determinar los siguientes ejes clave de búsqueda en el desarrollo de la investigación:

Estatus y desarrollo de las pymes a nivel regional y mundial, y en materia de sistemas de gestión.

Metodologías de diseño de modelos conceptuales y su correlación con el método sistémico.

- Gestión integral de riesgos, inteligencia decisional, y aplicación en pymes.
- Desarrollo de los componentes de los sistemas de gestión QHSE3+: calidad, salud y seguridad, gestión ambiental y eficiencia energética, al igual que de otros referenciales aplicables.
- Desarrollo de la gestión de planificación directiva y planificación operacional en los sistemas de gestión, y su aplicación en las pymes.

2.4.2 Diseño Funcional, Ergonómico y Formal (FEF) del modelo SGI-QHSE3+

Se consideró el diseño del modelo teniendo en cuenta los 10 componentes indicados en la Figura 2, que se desagregan desde el punto de vista gráfico y funcional en la sección de resultados, bajo el enfoque de diseño sistémico (Hernandis & Briede, 2009).

2.4.3 Configuración de los instrumentos para el diagnóstico y la planificación directiva y operacional del SGI-QHSE3+

Se aplicó el análisis del contexto, en conjugación con el estudio de riesgos a nivel estratégico y operacional, para establecer finalmente herramientas de direccionamiento estratégico, y de control operacional, medición y seguimiento de procesos, focalizadas en los riesgos relevantes (Del Caño & De la Cruz, 2002) de cada componente QHSE3+.

2.4.4 Desarrollo de las herramientas para la planificación del proyecto, validación preliminar del modelo SGI-QHSE3+

Para la planificación del proyecto, se tomaron como punto de partida los fundamentos de herramientas desarrolladas por los autores y puestas al servicio del público, para el componente

de calidad, en el libro: Herramientas para implementar un SGC basado en ISO 9001:2008 (Poveda & Cañón, 2009), considerando en esta ocasión la perspectiva integral de los referenciales o normas ISO de las componentes QHSE³⁺, y/o de otras aplicables, según la naturaleza, características y propósitos de las empresas, bajo las siguientes premisas:

La integración de los diferentes referenciales: 9k, 14k, 45k y 50k, bajo la perspectiva del enfoque de los riesgos estratégicos del negocio y operacionales de los procesos.

La visualización de los bloques de procesos, al igual que su interacción y correlación con cada uno de los referenciales y requisitos reglamentarios aplicables, mediante la aplicación de matrices de análisis de procesos vs requisitos.

La aplicación de las buenas prácticas para la gestión de proyectos contenidas en ANSI PMBOK:2016 y en ISO 21500:2012, para la realización de la Estructura de Desglose de Trabajos del proyecto (EDT), configurada mediante una matriz grilla de implementación que tiene en cuenta en un eje las etapas de implementación del proyecto, y en el otro, las perspectivas asociadas al tablero de comando Balance Score Card (Kaplan & Norton, 1993). En cada celda, según sea el caso, se ubican los entregables o productos que debe generar el proyecto de implementación y que tienen lugar en los bloques de cada etapa-columna, conjugados con cada perspectiva-fila. Esta matriz se constituye en la base para la estructuración del plan maestro o cronograma de implementación del SGI-QHSE³⁺.

La aplicación y validación retrospectiva y preliminar de estos instrumentos, tuvo en cuenta su aplicación en campo en proyectos y versiones previas de los referenciales actualizados, y para las revisiones del 2015 y 2016, se soportó en la aplicación

piloto en empresas del sector servicios y de manufactura, durante procesos de consultoría, para la transición e implementación del Sistema de Gestión Integral SGI-QHSE3+, y en aplicaciones parciales con empresas en las que estaban vinculados alumnos de materias de posgrado impartidas por los autores y relacionadas directamente con la gestión integral desde diferentes universidades, en el campo de la salud, la ingeniería y la administración.

2.4.5 Principios y elementos conceptuales de carácter estructural que fundamentan la investigación



Figura 4
Principios conceptuales y elementos estructurales aplicados en la investigación

Fuente: Elaboración propia

Para aplicar la metodología descrita a partir de la página 126, se tuvieron en cuenta los principios y elementos presentados en la Figura 4.

Se destacan en la Figura 4, los elementos teóricos y conceptuales que sustentan las buenas prácticas, que son planteadas por las autoridades técnicas mundiales en los temas aquí indicados desde las comisiones técnicas:

TC 262 para la Gestión de Riesgos y 31k,

TC 176 para la Función Gerencial de Negocios y Calidad y la familia 9k,

ISO PC 283 para la Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, con la familia 45k,

TC 207 para Gestión Ambiental, y TC 242 para eficiencia energética con la familia 50k, y

Otras Comisiones Técnicas particulares, como por ejemplo la TC 34 SC 17 para inocuidad con la familia 22k y la TC 215 para la seguridad de la información con la familia 27k.

Por otra parte, conviene destacar la interacción de los autores con los miembros del Comité TC 176 a través de entrevistas y trabajos de consultoría desde QUARA Group, con el Vicepresidente de IQNET y líder del Comité ISO de Innovación, Dr. Leopoldo Colombo. Esto se complementa con el estudio y análisis del marco estructural de las Normas ISO sobre sistemas de gestión que tuvo un curso de evolución, considerando en principio el Modelo de Excelencia Europeo (EFQM), y luego la perspectiva de gestión integral desde el PAS 99/2012, que derivó posteriormente en la Guía ISO 83, y finalmente en el Anexo Reglamentario

ISO-SL/2015, que define los requisitos que deben cumplir los procesos de elaboración de normas sobre sistemas de gestión, y los productos que de ellos se derivan.

3. RESULTADOS

3.1 Etapa de planificación y estudio del estado del arte

3.1.1 Estado actual de las pymes y aplicación de Buenas Prácticas QHSE3+

En cuanto a los sistemas de gestión y las pymes, la investigación mostró que aunque a nivel regional y mundial los gobiernos identifican la prioridad de fortalecer el emprendimiento como mecanismo de generación de progreso, empleo y tecnología, a partir de planes de desarrollo en alcaldías, gobernaciones, ministerios y oficinas ejecutivas de presidencia, con incentivos tributarios, fiscales, financieros y tecnológicos..., a pesar de todo esto y de legislaciones fuertes para apoyar el emprendimiento, como es el caso de la Ley del Emprendedor 1014 del 2006 en Colombia, o la nueva Ley 14/2013 de apoyo a los emprendedores en España, identificada como boe-a-2015-1320, las cifras y tendencias de cierre y bancarrota de las pymes se mantienen.

El Poder Legislativo de España, en el preámbulo de la Ley 14/2013, utiliza el verbo destruir, al señalar que:

Se viene atravesando una grave y larga crisis económica con agudas consecuencias sociales: Entre 2008 y 2012 se han destruido casi 1,9 millones de empresas en España... La situación se vuelve especialmente dramática durante la crisis, habiendo el número de empresarios de 15 a 39 años registrado una caída de más del 30 por ciento desde 2007 a 2012 (Jefatura del Estado Español, 2013).

Esta circunstancia subraya la condición particularmente crítica de las tendencias negativas que se mantienen en España y en el mundo entero, y dan plena relevancia al desafío por contribuir en mejorar uno de los músculos claves de la economía y el desarrollo (Capelleras & Kantis, 2009).

En esta dirección, pese a las exigencias de los grandes compradores en materia de Sistemas de Gestión y la aplicación de la Guía RUC (Consejo Colombiano de Seguridad [CCS], 2017), no hay en el Caribe colombiano pymes certificadas en su sistema de gestión integral, y las que están certificadas en el componente ambiental, de calidad u otra específica son muy pocas, no tienen un enfoque de riesgos estratégicos y operacionales consolidado, y pese a que Colombia es con corte a noviembre de 2013, uno de los pocos países con una tasa de incremento significativa con respecto a los demás de la región, por encima de Canadá, Argentina, México, Chile, Ecuador y Perú, el porcentaje de pymes certificadas, por lo menos en la componente de calidad, es inferior al 0,1 % del total de empresas (Prisma Consultoría, 2016), y el aumento en Latinoamérica para el 2015 no fue superior al 1 %, para un total cercano a las 1.033.000 de empresas certificadas en el mundo (*International Organization for Standardization [ISO]*, 2015).

En conclusión, no obstante los programas institucionales y el apoyo estatal dado a los esfuerzos de emprendimiento en todo el mundo, y al apoyo y monitoreo al emprendimiento en Europa y América, como la gestión adelantada por la red del *Global Entrepreneurship Monitor* (GEM), las estadísticas asociadas a la alta vulnerabilidad de los esfuerzos de emprendimiento y los bajos niveles de aplicación de las buenas prácticas de certificación se mantienen con una leve tendencia de mejora (GEM, 2015).

3.1.2 Estado actual de la gestión integral de riesgos con enfoque QHSE3+

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 los diferentes componentes de riesgos QHSE3+, como lo ilustra la Figura 5.

<p>VOCABULARIO Guía 73</p>	<p>ISO IEC 73: 2009. Gestión del Riesgo. Vocabulario</p> <p>Objetivo: Proporciona las definiciones de los términos genéricos relativos a la gestión del riesgo. Estimula una comprensión y aplicación común y homogénea de las actividades relativas a la gestión del riesgo.</p>	<p>Términos Relativos al Riesgo</p> <p>Términos Relativos a la Gestión del Riesgo</p>	<p>Proceso de gestión del riesgo</p> <p>Contexto. Comunicación y Consulta.</p> <p>Apreciación / Evaluación del Riesgo</p> <p>Tratamiento del Riesgo</p> <p>Seguimiento y Medición</p>
<p>EJE PRINCIPAL DE DIRECTRICES ISO 31K</p>	<p>ISO 31000: 2009. Gestión del Riesgo. Principios y Directrices</p> <p>Objetivo: Proporciona las directrices y orientaciones relativas a la gestión del riesgo. Promueve la armonización de los procesos de gestión del riesgo establecidos en las normas existentes o futuras. No está prevista para fines de certificación.</p>	<p>Principios. Marco de Referencia para la GR</p> <p>Proceso para la Gestión del Riesgo</p>	<p>Generalidades. Mandato y Compromiso</p> <p><i>Diseño del Marco de Referencia:</i> Contexto, Política, Integración a procesos y Recursos</p> <p><i>Implementación, Seguimiento, Revisión y Mejora del Marco de Referencia</i></p> <p>Comunicación y Consulta. Contexto</p> <p><i>Apreciación, Tratamiento, Seguimiento, Revisión y Registro del Proceso GR</i></p>
<p>GUIA DE IMPLEMENTACIÓN TR 31004</p>	<p>ISO TR 31004: 2013. Gestión del Riesgo. Directrices para la Implementación de ISO 31000</p> <p>Objetivo: Orientar a las organizaciones con relación a la gestión eficaz del riesgo mediante la implementación de la norma ISO 31000:2009, a partir del refuerzo y enfoque de aplicación de los conceptos, los principios y de puesta en aplicación del Marco de Referencia y del Proceso de Gestión del Riesgo.</p>	<p>Implementación de ISO 31000</p> <p>Anexos Guía</p>	<p>Cómo Implementar</p> <p><i>Integración de 31k a los Procesos</i></p> <p><i>Mejora Continua</i></p> <p><i>Aspectos clave de aplicación de conceptos</i></p> <p><i>Ayudas prácticas y recomendaciones para la aplicación efectiva de los Principios.</i></p> <p><i>Despliegue del Mandato y Compromiso.</i></p> <p><i>Monitoreo y Revisión del Marco de Referencia y del Proceso de GR.</i></p> <p><i>Integración de la GR al Sistema de Gestión de la Organización.</i></p>
<p>GUIA DE SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE APRECIACIÓN DEL RIESGO ISO 31010</p>	<p>ISO 31010: 2009. Gestión del Riesgo. Técnicas de apreciación / Evaluación del Riesgo</p> <p>Objetivo: Proporcionar directrices para la selección y aplicación de técnicas sistemáticas para la apreciación del riesgo, considerando la referencia específica a otras normas internacionales, donde el concepto y la aplicación de técnicas se describen con mayor detalle. Esta norma no está prevista para fines de certificación, ni para usos reglamentarios o contractuales.</p>	<p>Conceptos de Apreciación del Riesgo</p> <p>Proceso de Apreciación del Riesgo</p> <p>Selección de Técnicas de Apreciación del Riesgo</p>	<p>Propósitos y Beneficios</p> <p><i>Apreciación del Riesgo y Marco de Referencia</i></p> <p><i>Apreciación del riesgo y Proceso de Gestión del Riesgo.</i></p> <p><i>Identificación, Análisis y Apreciación del Riesgo.</i></p> <p><i>Seguimiento y Revisión de la Apreciación del riesgo</i></p> <p><i>Aplicación de la apreciación del riesgo durante las fases del ciclo de vida</i></p> <p><i>Selección de Técnicas y Disponibilidad del Recurso.</i></p> <p><i>Naturaleza y Grado de la Incertidumbre</i></p> <p><i>Complejidad</i></p> <p><i>Aplicación de la apreciación del riesgo durante las fases del ciclo de vida</i></p> <p><i>Tipos de Técnicas de Apreciación del Riesgo.</i></p>

Mapa General de la Familia de Normas ISO 31000

Figura 5
Objetivos y temática de las principales Normas de la Familia ISO 31000

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el amplio cubrimiento temático de las normas de la familia 31k y la investigación adelantada por los autores para desarrollar el primer libro de la serie Gestión para el Éxito Empresarial (GEES), se decidió adoptar el modelo allí planteado, que resulta de la conjugación de los elementos del referencial ISO 31000:2009 en una configuración general para el modelo conceptual que se explica en el intertítulo 'Diseño funcional, ergonómico y formal' estableciendo también las bases para generar una herramienta que facilite el análisis de riesgos y oportunidades a nivel estratégico y operacional.

3.1.3 Estado actual del diseño de modelos conceptuales aplicados al SGI-QHSE3+

En cuanto al diseño de modelos conceptuales, se ratificó la bondad de la aplicación del método sistémico, consolidado en gran medida durante la última década desde la Escuela de Diseño de la Universidad Politécnica de Valencia, bajo la orientación del profesor Bernabé Hernandis y la Red para el Diseño Sistémico (RDIS) (Poveda, García & Hernandis, 2016). En lo relacionado con la incorporación de la Gestión Integral con enfoque QHSE3+ al modelo, se concluyó que con la Revisión de las normas ISO 9k, 14k, 45k y 50K de 2015/2017, y el enfoque del PAS 99, traducido finalmente a la estructura jerárquica de alto nivel HLS, se consolida la integración de las buenas prácticas para los sistemas de gestión. En el momento no se tiene ningún modelo conceptual para sistemas de gestión, ni se ha considerado la integralidad de referenciales, incluyendo el rendimiento energético.

3.1.4 Estado actual en cuanto a métodos y herramientas para la planificación directiva, operacional y de proyectos de implementación del SGI QHSE3+

El estudio del estado del arte permitió concluir que aunque existen instrumentos desde el marco lógico, ANSI PMBOK e ISO 21500:2012 para determinar el problema, los objetivos, los entregables, el *Project Charter*, la Estructura de Desglose de Tareas (EDT), y el presupuesto y cronograma para la gestión de los proyectos, no se ha dado la aplicación formal de estas herramientas para los proyectos relacionados con la implementación de sistemas de gestión, y mucho menos para sistemas de gestión integral. En cuanto a la planificación directiva y operacional del Sistema de Gestión Integrado:

Desde varias escuelas y centros de planeación y estrategia se tienen directrices y métodos para abordar el direccionamiento estratégico, pero no existen aplicaciones particulares que consideren las pymes, el contexto, y el SGI bajo la perspectiva estratégica de riesgos y oportunidades, en línea con los estándares QHSE3+.

Aunque desde las diferentes familias de normas sectoriales se plantean alternativas para la apreciación de riesgos, como en la guía ISO 22004:2005 para riesgos de inocuidad, ISO 31010:2009 técnicas para la evaluación de riesgos, y en ISO 27005:2011 sobre gestión de riesgos en seguridad de la información; no se tienen desarrollos específicos que tengan en cuenta el enfoque de riesgos y oportunidades, bajo la perspectiva integral QHSE3+.

3.2 Etapa de diseño funcional, ergonómico y formal del modelo SGI QHSE3+

3.2.1 Diseño del modelo conceptual para la gestión integral de riesgos

Antes de presentar el modelo global SGI QHSE3+, es preciso observar el modelo para la gestión integral de riesgo, que soporta en gran medida elementos funcionales clave del modelo general del SGI. Para este efecto, partimos de los conceptos básicos de proceso y gestión de riesgo, que tomados de la Guía ISO 73:2009 y la norma ISO 31000:2009, han sido resumidos pedagógicamente por los autores en la Figura 6, correlacionando la gestión con las etapas que tienen lugar en el proceso de gestión del riesgo, desde la definición del contexto, hasta la comunicación, la consulta y el monitoreo.

Las actividades de este proceso tienen lugar de manera sistemática y transversal en todos los procesos, asociadas siempre a toma de decisiones, medidas de prevención, control operacional o monitoreo, para reducir la vulnerabilidad. Es importante destacar que independientemente de que hablemos de los riesgos financieros, ambientales o estratégicos, en las dimensiones de producto, proceso, proyecto... siempre se tiene el mismo ciclo en la gestión del riesgo: definir el contexto, identificar, analizar, evaluar, decidir, tratar, controlar, monitorear y volver a empezar con el riesgo residual o los cambios que se puedan presentar. Ahora bien, el núcleo central del modelo de gestión de riesgos está fundamentado en la inteligencia en interacción con el proceso, la estructura y la estrategia para la GIR, que como se ilustra en la Figura 7, tiene un primer ciclo asociado a: 1) Las lecciones y el aprendizaje que resulta de los errores, los logros y los éxitos, de

los incidentes o “near-miss”, de identificar qué es lo que tienen los “mejores de la clase” en otras organizaciones o procesos con circunstancias parecidas aplicables, mediante la observación de su manejo competitivo exitoso, y también de las lecciones aprendidas de otros, ii) La mejora e innovación. A partir del aprendizaje, se toman decisiones innovadoras y creativas para evitar cometer los mismos errores, disminuir la probabilidad o el impacto de amenazas, explotar las oportunidades, y mejorar el desempeño de los procesos.

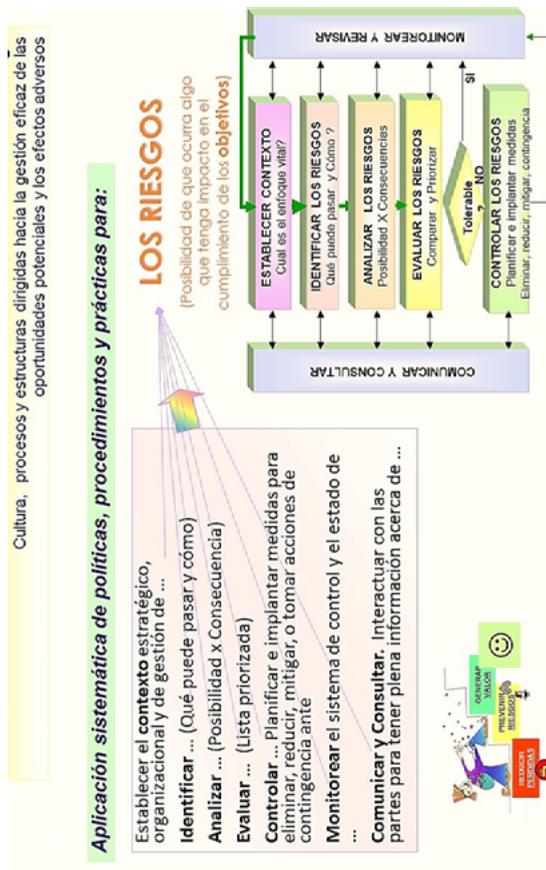


Figura 6
El proceso para la gestión del riesgo
Fuente: Elaboración propia



Figura 7
Núcleo de la Gestión Integral del Riesgo (GIR)
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 se observa la arquitectura y lógica PHVA del modelo para la gestión integral de riesgos, y los elementos que bajo la Estructura de Alto Nivel-HLS deben tener los sistemas de gestión: análisis del contexto, liderazgo, planificación, soporte, operación, evaluación y mejora, en interacción con un ciclo similar para el Sistema de Gestión Integral de Riesgos (SIGIR).

3.2.2 Diseño del modelo conceptual SGI QHSE3+

El modelo conceptual para el SGI QHSE3+, integra, resume y hace evidente la lógica estructural y funcional de la gestión que reúne de manera armónica y en línea con los propósitos estratégicos, los diferentes componentes de riesgos y su administración en la organización.

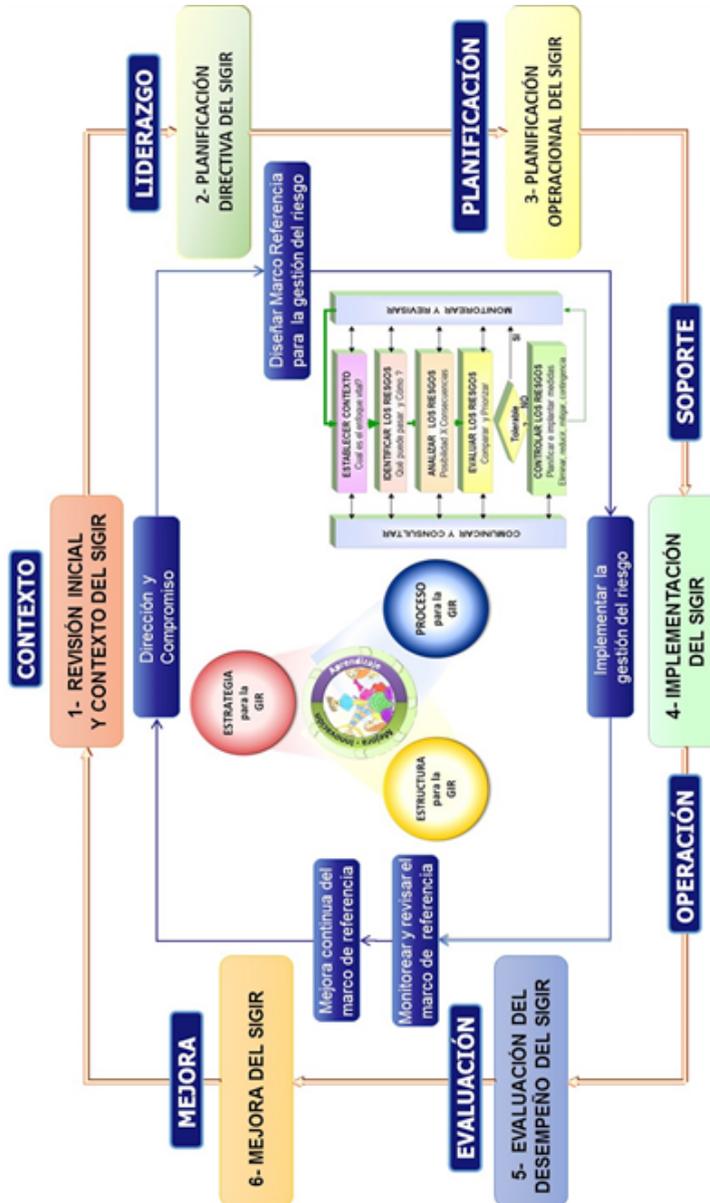


Figura 8
Modelo para la Gestión Integral del Riesgo (GIR)
Fuente: Poveda & Cañón (2015)

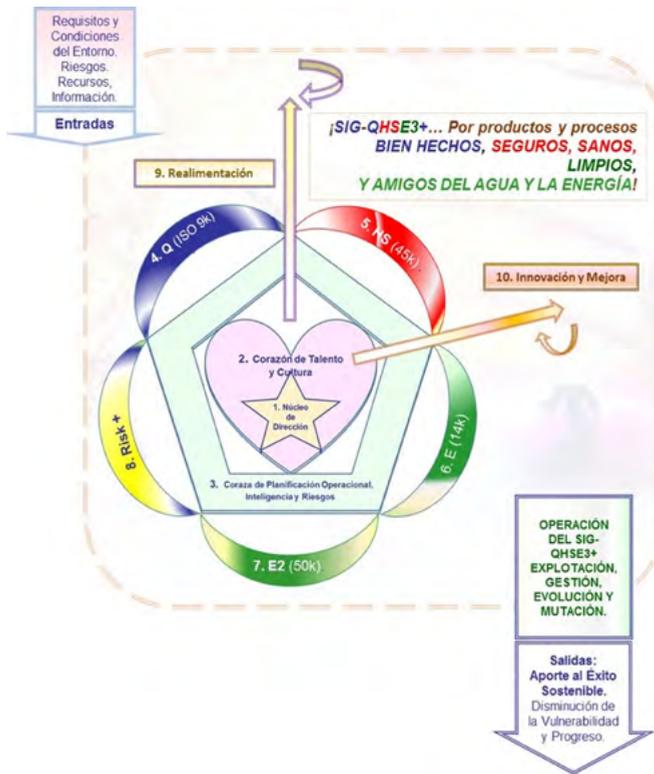


Figura 9. Modelo SGI – QHSE3+
Fuente: Elaboración propia

Con la publicación en el portafolio del Instituto Colombiano de Normalización Técnica y Certificación (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 GEES. Con esta serie y el portal asociado, los autores iniciaron desde el 2016 la divulgación del modelo para la gestión integral de riesgos y de las herramientas a las que se accede libremente desde este sitio web.

En la Figura 9, se observa el modelo configurado, en el que se articulan diez componentes armonizados bajo la siguiente secuencia: a) una estrella como núcleo de dirección, b) el corazón

del modelo, que representa el talento y la cultura, c) una coraza de tres capas que reúnen la inteligencia, la gestión de riesgos y la planificación operacional, d) a continuación, el modelo plantea cinco brazos, que representan los componentes QHSE3+, y su estructura culmina con e) dos ejes de dinámica, que corresponden al eje de realimentación y el eje de mejora e innovación.

En esta figura, se observa el sistema como un todo ligado a cada empresa, que:

Tiene unas entradas en términos de recursos, información, condiciones del entorno y requisitos, y unas salidas focalizadas en la reducción de la vulnerabilidad para el éxito sostenible,

Tiene un diseño en el que se da prioridad a la generación de resultados de negocio, a partir de una planificación directiva y operacional asociadas al direccionamiento estratégico, y a la gestión integral de riesgos,

Están configurados los componentes estructurales descritos en el anterior párrafo: núcleo, corazón, coraza, brazos QHSE3+, y ejes de realimentación y de mejora, que interactúan como un todo y despliegan el pensamiento basado en riesgos de manera transversal al modelo y a la empresa o institución en la que se aplique.

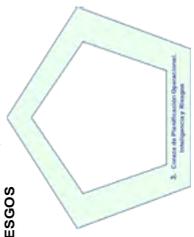
Bajo este enfoque, para consolidar el diseño del modelo, se considera el análisis del diseño Funcional/Estructural, Ergonómico y de Forma (FEF), sobre el Sistema en su globalidad, que posteriormente tiene una réplica en los mismos temas (FEFI) para cada uno de los componentes que lo integran, como se ilustra en las siguientes tablas de análisis funcional, ergonómico y formal.

Tabla 1
Modelo SGI – QHSE3+. Núcleo de dirección y corazón de talento y cultura

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES CLAVE	CARACTERÍSTICAS ERGONÓMICAS Y FORMALES CLAVE	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
I. NÚCLEO DE DIRECCIÓN 	1.1 Direccionamiento y Estrategia para el Éxito Sostenible. 1.2 Gestión del Core de la PYME , asociada al Desarrollo de Negocios, Productos y Servicios que caracterizan y diferencian la PYME. 1.3 Liderazgo y Direccionamiento de Proyectos de Innovación y Desarrollo de Negocios y Productos.	1.a Gestión de Integración y Coordinación con los grupos de interés internos y externos. 1.b Gestión de dominio del Contexto y el Marketing , y de Estudio de las Necesidades y Expectativas de los grupos de interés. 1.c Gestión Comercial y de Comunicaciones Corporativas con los Grupos de Interés.	Integra la gestión de Planificación Estratégica con la Prospectiva, la Inteligencia, la Revisión Gerencial y el Manejo de Riesgos Corporativos , en línea con el conocimiento del comportamiento y la interacción con el mercado y los grupos de interés, y la dinámica comercial , en función del alcance estratégico e integral del Sistema.
II. CORAZÓN DE TALENTO Y CULTURA 	2.1 Gestión de la Cultura. Los Principios, las Raíces y la Identidad. 2.2 Desarrollo de Competencias para la estrategia y el éxito sostenible. 2.3 Gestión del Conocimiento. Perspectiva integral, tecnológica de los negocios, los productos, los procesos y los puestos de trabajo.	2.a Desarrollo Organizacional 2.b Fortalecimiento del Sentido Social y Humano del Proyecto de Emprendimiento PYME. 2.c Planificación y Desarrollo de la Formación y del Esquema Organizacional de la PYME. 2.d Gerencia del Esquema Organizacional y Administración de Salarios.	Gerencia del Talento Humano integrada a la Gestión del Conocimiento y la Cultura, al Proyecto de Vida de los Emprendedores y a la Razón Humana y Social de todo el esfuerzo ... Para el Éxito Humano y Sostenible.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2
Modelo SGI – QHSE3+. Coraza y Brazo Q-9k

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES CLAVE	CARACTERÍSTICAS ERGONOMÍCAS Y FORMALES CLAVE	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
<p>III. CORAZA: PLANIFICACIÓN OPERACIONAL, INTELIGENCIA Y RIESGOS</p> 	<p>3.1 Gestión de Inteligencia para los Procesos, los Proyectos y los Productos. 3.2 Gestión de Riesgos: Identificación de Riesgos y Planificación de las Medidas de Control QHSE3+. 3.3 Validación de los riesgos determinados en condiciones normales, anormales y de emergencia y de las medidas administrativas respectivas. (Perspectiva integral, tecnológica de los negocios, los productos, los procesos y los puestos de trabajo). 3.4 Gestión de recursos, compras y contrataciones, logística, soporte e infraestructura.</p>	<p>3.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, los Procesos y la Gestión del Cambio. 3.b Dirección Técnica y Especializada para la Determinación y Gestión de Riesgos QHSE3+, en Proyectos y Procesos. 3.c Planificación, Documentación y Despliegue de los Metodos para la Gestión Integral de Riesgos. 3.d Planificación, Documentación y Despliegue de las Medidas de Control de cada riesgo. 3.e Formalización de los mecanismos para la Gestión de Inteligencia (General, por proyectos y por procesos)</p>	<p>Esta coraza blinda a los procesos y a los diferentes componentes del modelo con respecto al impacto de los riesgos estratégicos y de las componentes QHSE3+ que se pueden manifestar en la Organización PYME, y asigna los recursos, la infraestructura y el soporte requerido para su organización, considerando además la gestión de elementos transversales al Sistema de Gestión, no cubiertos en la Realimentación, la Innovación y la Mejora.</p>
<p>IV. BRAZO Q.9K DE LA COMPONENTE DE GESTIÓN DE CALIDAD.</p> 	<p>4.1 Gestión de Requisitos Comerciales, Legales y Reglamentarios en materia de Calidad. 4.2 Gestión de Riesgos, Contingencias y Emergencias Q: Aplicación de las Medidas de Control Q. (Incluye Control Operacional y Medición y Seguimiento) 4.3 Gestión de incidentes, No Conformes y Respuesta a PQR y Voces de las partes interesadas, para la componente Q.</p>	<p>4.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, la Planificación de la Calidad, y la Gestión del Cambio. 4.b Gestión Técnica y Especializada para la Componente Q en Productos, Servicios, Proyectos y Procesos. Interacción con Otros Sistemas de Gestión en la Componente Q. 4.c Gestión de Aseguramiento de la Calidad con Proveedores y Contratistas. 4.d Planificación, Documentación y Despliegue de los Metodos y Disposiciones de la Componente Q.</p>	<p>Desde el brazo de la componente de Calidad se centra la atención en los clientes y usuarios, y en la respuesta coherente a sus requisitos en función de la oferta de la PYME y del contexto de los requisitos del referencial ISO 9001, para evitar los riesgos de falla, incumplimiento o pérdidas por calidad. Por otra parte, se aplica la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HLS, para asegurar la armonización de las diferentes componentes aplicables al Sistema de Gestión.</p>

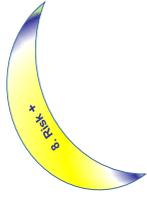
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3
Modelo SGI – QHSE3+. Componentes HS 45k y E 14k

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES CLAVE	CARACTERÍSTICAS ERGONÓMICAS Y FORMALES CLAVE	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
<p>V. BRAZO HS-45k DE LA COMPONENTE DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.</p> 	<p>5.1 Gestión de Requisitos Comerciales, Legales y Reglamentarios en materia de Seguridad y Salud Ocupacional. 5.2 Gestión de Riesgos, Contingencias y Emergencias HS: Aplicación de las Medidas de Control HS. (Incluye Control Operacional y Medición y Seguimiento) 5.3 Gestión de Incidentes, No Conformes y Respuesta a PQR y Voces de las partes Interesadas, para la componente HS.</p>	<p>5.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, la Planificación de Seguridad y Salud Ocupacional, y la Gestión del Cambio. 5.b Gestión Técnica y Especializada para la Componente HS en Productos, Servicios, Proyectos y Procesos. Interacción con Otros Sistemas de Gestión en la Componente HS 5.c Gestión de Compras y Seguridad HS con Proveedores y Contratistas. 5.d Planificación, Documentación y Despliegue de los Metodos y Disposiciones de la Componente HS 5.e Gestión formal de comunicaciones HS.</p>	<p>Desde el brazo de la componente de Seguridad y Salud Ocupacional, se centra la atención en los trabajadores: contratistas usuarios y otros grupos de interés relacionados con los accidentes de trabajo y las enfermedades laborales. Y en la respuesta coherente a sus requisitos en función de los compromisos y obligaciones de la PYME y los requisitos del referencial ISO 45001 u otros aplicables. Por otra parte, se aplica la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HLS, para asegurar la armonización de las diferentes componentes aplicables al Sistema de Gestión.</p>
<p>VI. BRAZO E-14k DE LA COMPONENTE DE GESTIÓN AMBIENTAL.</p> 	<p>6.1 Gestión de Requisitos Legales, Reglamentarios y otros en materia Ambiental. 6.2 Gestión de Riesgos, Contingencias y Emergencias Ambientales E: Aplicación de las Medidas de Control E. (Incluye Control Operacional y Medición y Seguimiento) 6.3 Gestión de Incidentes, No Conformes y Respuesta a PQR y Voces de las partes Interesadas, para la componente Ambiental E.</p>	<p>6.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, la Planificación Ambiental, y la Gestión del Cambio. 6.b Gestión Técnica y Especializada para la Componente E en Productos, Servicios, Proyectos y Procesos. Interacción con Otros Sistemas de Gestión en la Componente Ambiental E. 6.c Gestión de Compras y Dinámica Ambiental con Proveedores y Contratistas. 6.d Planificación, Documentación y Despliegue de los Metodos y Disposiciones de la Componente E. 6.e Gestión formal de comunicaciones E</p>	<p>Desde el brazo de la componente Ambiental se centra la atención en los trabajadores, contratistas usuarios y otros grupos de interés relacionados con los aspectos e impactos ambientales, y en la respuesta coherente a sus requisitos en función de los compromisos y obligaciones de la PYME y los requisitos del referencial ISO 14001 u otros aplicables. Por otra parte, se aplica la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HLS, para asegurar la armonización de las diferentes componentes aplicables al Sistema de Gestión.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4
Modelo SGI – QHSE3+. Componentes E2 5ok y Risk +

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES CLAVE	CARACTERÍSTICAS ERGONÓMICAS Y FORMALES CLAVE	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
<p>VII. BRAZO E2-50K DE LA COMPONENTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.</p> 	<p>7.1 Gestión de Requisitos Legales, Reglamentarios y otros en materia de Eficiencia Energética E2. 7.2 Gestión de Riesgos, Contingencias y Emergencias en Gestión de la Energía: Aplicación de las Medidas de Control E2. (Incluye Control Operacional y Medición y Seguimiento) 7.3 Gestión de Incidentes, No Conformes y Respuesta a PQR y Voces de las partes interesadas, para la componente E2.</p>	<p>7.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, la Planificación Energética, y la Gestión del Cambio. 7.b Gestión Técnica y Especializada para la Componente E2 en Productos, Servicios, Proyectos y Procesos. Interacción con Otros Sistemas de Gestión en la Componente E2. 7.c Gestión de Compras y Eficiencia Energética con Proveedores y Contratistas. 7.d Planificación, Documentación y Despliegue de los Métodos y Disposiciones de la Componente E2. 7.e Gestión formal de Comunicaciones E2.</p>	<p>Desde el brazo de la componente de Eficiencia Energética, se centra la atención en la dinámica y los grupos de intereses relacionados con la Gestión para el Rendimiento Energético, en función de los compromisos y obligaciones de la PYME y los requisitos del referencial ISO 50001 u otros aplicables. Por otra parte, se aplica la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HLS, para asegurar la armonización de las diferentes componentes aplicables al Sistema de Gestión.</p>
<p>VIII. BRAZO RISK + (OTROS RIESGOS A CONSIDERAR)</p> 	<p>8.1 Gestión de Requisitos Legales, Reglamentarios y otros en materia de componente adicional RISK+, (Puede ser inocuidad, eficiencia energética, BASC, Seguridad de la Información, o cualquier otro modelo requerido por el negocio y el mercado). 8.2 Gestión de Riesgos, Contingencias y Medidas de Control RISK+ (Incluye Control Operacional y Medición y Seguimiento) 8.3 Gestión de Incidentes, No Conformes y Respuesta a PQR y Voces de las partes interesadas, para la componente RISK+</p>	<p>8.a Integración de la Planificación Directiva, los Proyectos Corporativos, la Planificación para RISK+, y la Gestión del Cambio. 8.b Gestión Técnica y Especializada para la Componente RISK 2, en Productos, Servicios, Proyectos y Procesos. Interacción con Otros Sistemas de Gestión en la Componente RISK+. 8.c Gestión de Compras y RISK+ con Proveedores y Contratistas. 8.d Planificación, Documentación y Despliegue de los Métodos y Disposiciones de la Componente RISK+. 8.e Gestión formal de Comunicaciones RISK+.</p>	<p>Desde el brazo de la componente de RISK+, se centra la atención en la dinámica y los grupos de intereses relacionados con la Gestión para la Componente de Riesgos considerada, en función de los compromisos y obligaciones de la PYME y los requisitos de los referenciales aplicables. Por otra parte, se aplica la Estructura Jerárquica de Alto Nivel HLS, para asegurar la armonización de las diferentes componentes aplicables al Sistema de Gestión.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5
 Modelo SGI – QHSE3+. Ejes de realimentación e innovación y mejora

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES CLAVE	CARACTERÍSTICAS ERGONÓMICAS Y FORMALES CLAVE	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
<p>IX. EJE DE REALIMENTACIÓN</p> 	<p>9.1 Planificación, Desarrollo e Integración de los diferentes Mecanismos de Realimentación: (Estudio del Mercado, Auditoría, Seguimiento, Medición, Evaluación y Análisis, Gestión de las Voces de los Grupos de Interés, Indicadores, Gerencia del día a día, Seguimiento a la Dinámica Estratégica, Bench Marking, Supervisión, Inspección, Evaluación de Competencias, Evaluación de Clima y Cultura, y Autoevaluación, entre otras).</p> <p>9.2 Seguimiento a los Riesgos Residuales y a la Disminución de la Vulnerabilidad.</p> <p>9.3 Seguimiento a la dinámica de Negocios y Productos.</p>	<p>9.a Gestión de integración divulgación y despliegue de los mecanismos de realimentación, con los grupos de interés.</p> <p>9.b Evaluación de la Gestión de Marketing, de Estudio de las Necesidades y Expectativas de los grupos de interés, y de la dinámica de productos y negocios.</p> <p>9.c Gestión formal de comunicación de la Planificación y el Desarrollo de los Mecanismos de Realimentación.</p> <p>9.d Despliegue de Registros de Resultados e Integración a la Administración Salarial.</p>	<p>Tiene un alcance que cubre los diferentes componentes del Sistema. Integra y despliega la totalidad de mecanismos de realimentación, incluyendo además:</p> <p>a. La realimentación sobre el nivel y servicio de auditorías, supervisión, indicaciones u otros tipos de realimentación aplicados.</p> <p>b. La evaluación de la efectividad de las acciones que se emprenden como consecuencia de los resultados de la a misma realimentación.</p>
<p>X. EJE DE INNOVACIÓN Y MEJORA</p> 	<p>10.1 Gestión para el direccionamiento de las iniciativas estratégicas de mejora, incluyendo la correlación con el análisis de riesgos estratégicos, la continuidad del negocio y los proyectos corporativos.</p> <p>10.2 Liderazgo y Planificación de los Procesos para la Gestión de Acciones Correctivas, Preventivas y de Mejora.</p> <p>10.3 Gestión para la Integración de la Innovación y el Conocimiento a la Cultura de la PYME.</p>	<p>10.a Definición formal de los métodos y procesos para la gestión de acciones correctivas, la innovación y la mejora, integrada a la Gestión de Riesgos.</p> <p>10.b Despliegue y divulgación de los métodos de gestión para las acciones correctivas, preventivas y de mejora.</p> <p>10.c Acompañamiento y monitoreo sobre la Gestión de Innovación y Mejora en los diferentes niveles en que tenga lugar.</p> <p>10.d Reconocimiento formal y compensación por logros.</p>	<p>Integra la Gestión de Acciones de Corrección, Tratamiento y Respuesta a No Conformidades e Incidentes, Mejora e Innovación. Considera la Administración de las acciones de innovación y mejora en los diferentes niveles que pueden tener lugar en la organización: Corporativa Estratégica, Formal del Sistema, Por Mecanismos de Realimentación y por iniciativas personales y puntuales desde cada proceso.</p>

Fuente: Elaboración propia

3.3 Etapa de configuración de instrumentos para el diagnóstico del SGI QHSE3+

Con el desarrollo de la investigación, se generaron dos tipos de instrumentos para la realización del diagnóstico del SGI: 1) Fichas explicativas y listas de chequeo con 10 preguntas para cada uno de los principios de gestión con perspectiva integral preparadas por los autores, y calificables para cada componente QHSE3+ del modelo. Además de constituirse en un entregable de la investigación que se divulgó a través del Libro Guía sobre la GIR y en el portal www.gees.com.co, con este producto se logró explicar de manera muy sencilla la esencia de los sistemas y potenciar su evaluación y diagnóstico, sin necesidad de estudiar y dominar el lenguaje y la técnica de las normas de referencia, 2) Listas de chequeo para evaluar el nivel de cumplimiento de los requisitos de los referenciales QHSE3+, considerando los elementos comunes y no comunes de la estructura HLS. Con estos productos se divulgan pedagógicamente los requisitos de las normas y se establece una línea base de referencia contra la que se estructura el Plan de Acción y se realiza seguimiento posterior al estado de cumplimiento de los requisitos. En las páginas siguientes se presentan ejemplos que ilustran la estructura de las fichas y las listas de chequeo.

Nuevas tendencias en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas.
Un enfoque desde estudios iberoamericanos

Principio UNO	Declaración: <i>El enfoque principal de la gestión integral es cumplir los requisitos, generar valor, tener un enfoque preventivo, atender las necesidades y tratar de exceder las expectativas del cliente y otras partes interesadas relevantes, según sea pertinente.</i>
Enfoque al Cliente y las Partes Interesadas	
<p>Base Racional y Enfoque Integral para el Éxito Sostenible: <i>El éxito sostenible se alcanza cuando una organización atrae y conserva la confianza de los clientes y de otras partes interesadas. Cada aspecto de la interacción con los grupos de interés puede proporcionar más oportunidades para la generación integral de valor.</i> <i>Determinar el Mercado Objetivo, entender las necesidades actuales y futuras de los clientes y de otras partes interesadas contribuye al éxito continuo de la organización.</i> El enfoque de la Gestión ligada a este principio apunta hacia el conocimiento del contexto y del mercado objetivo, el cumplimiento de los requisitos de las partes, la comprensión de sus intereses, necesidades y expectativas actuales y futuras, y la generación de respuestas positivas acordes con el enfoque para el éxito humano y sostenible del negocio, bajo el contexto de la innovación y el desarrollo de negocios, proyectos, procesos, productos y servicios.</p>	
Beneficios e Impacto esperado con su aplicación (¿Se reflejan en el PyG y en el tablero de indicadores?):	
1.1	Mayor Generación Integral de Valor.
1.2	Mayor Satisfacción de las Partes.
1.3	Mayor visibilidad positiva y reputación.
1.4	Mayor tasa de retorno y fidelización de clientes.
1.5	Ampliación de la base de clientes y de la participación en el mercado.
1.6	Aumento en las utilidades y en la rentabilidad.
1.7	Disminución del riesgo en la interacción crítica con las partes.
1.8	Mayor efectividad en el desarrollo de nuevos negocios y de nuevos productos.
1.9	Fortalecimiento de la cultura de generación integral de valor.
Actividades Clave Asociadas a su Aplicación:	
Lineas Principales de Acción asociadas a la aplicación del Principio UNO en el SGI.	
1.a	Comprender el Contexto, Determinar el Mercado Objetivo e Identificar las partes interesadas, y los clientes directos e indirectos, como aquellos que reciben valor de la organización.
1.b	Investigar, entender y comunicar las necesidades actuales y futuras, los intereses y las expectativas de los clientes y las partes.
1.c	Relacionar los objetivos de la organización y los Proyectos de Desarrollo de Nuevos Negocios y Productos, con las necesidades e intereses de las partes, la protección del medio ambiente, la sostenibilidad, la seguridad y la salud en el trabajo.
1.d	Enfocar la gestión del aprendizaje, el conocimiento y la innovación estratégica para planificar, diseñar, desarrollar, producir, entregar y dar soporte a los productos y servicios, con el propósito de dar respuesta efectiva a las necesidades y expectativas del cliente; bajo un enfoque de protección del medio ambiente, sostenibilidad, seguridad y salud en el trabajo.
1.e	Realizar el seguimiento a las Voces de las Partes Interesadas (satisfacción, aportes, quejas, reclamos, incidentes, imagen, valor integral percibido, oportunidades... grado en que se cumplen sus necesidades y expectativas), y tomar las acciones adecuadas.
1.f	Analizar y Evaluar la información de los clientes, los grupos de interés y el mercado, como base para la identificación de riesgos y oportunidades, que soporten la toma de decisiones para la generación integral de valor y el éxito sostenible.
1.g	Configurar Desarrollar y Administrar el Portafolio de Proyectos para el Desarrollo de Nuevos Negocios y Acciones para la Generación Integral de Valor, la Sostenibilidad y la Disminución de la Vulnerabilidad en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo.
1.h	Fortalecer las relaciones positivas con los clientes y las partes interesadas, bajo la perspectiva del aporte común al éxito humano y sostenible colectivo.
1.i	Fortalecer la cultura de generación integral de valor hacia las partes interesadas.

Figura 10
Ejemplo de ficha de principios con enfoque SGI – QHSE3+ (primera parte)

Fuente: Elaboración propia

Modelo conceptual y ruta para
implementar un sistema de gestión integral QHSE3 + en PYMES

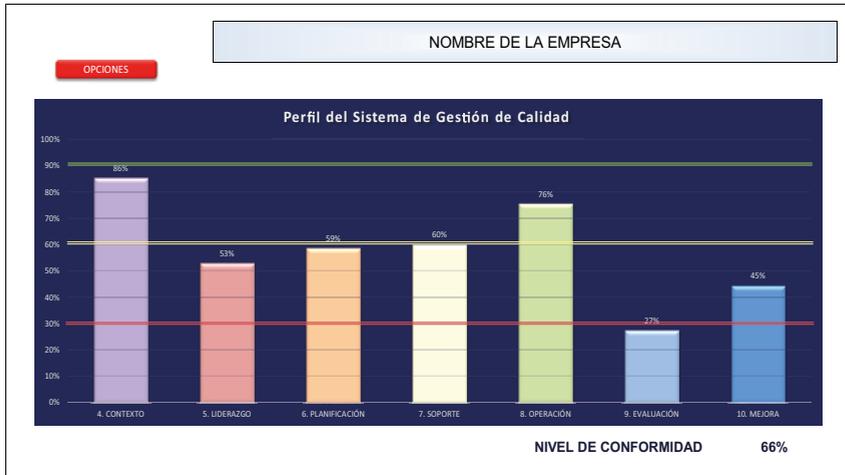
I. ENFOQUE EN EL CLIENTE Y LAS PARTES INTERESADAS					Notas y Observaciones
ESTADO DE LA GESTIÓN INTEGRAL					
TEMA	GESTIÓN AMBIENTAL y ENERGÉTICA (LÍMPIDOS Y...)	GESTIÓN SST PROCESOS (SEGUROS)	GESTIÓN CALIDAD BIEN HECHOS	GESTIÓN DE OTROS RIESGOS TIC, BP+, RSE,...	
1. Se determina el mercado objetivo, y se identifican quiénes son los clientes y las partes interesadas relevantes para la organización (autoridades, sociedad, empleados, usuarios, comunidad, proveedores, propietarios)	4	3	4	2	No se han tenido en cuenta...
2. Se investigan, entienden y comunican las necesidades, expectativas y requisitos actuales y futuros aplicables de los clientes y las partes interesadas relevantes y se tienen en cuenta para la formulación de objetivos de la organización y proyectos de innovación, desarrollo de nuevos negocios , productos y servicios y acciones para mejorar y reducir la vulnerabilidad en gestión ambiental y de SST	4	3	5	2	
3. Se determinan los requisitos legales y reglamentarios aplicables, se hace seguimiento y revisión de esta información, y se evalúa la conformidad de productos, servicios, procesos, y el desempeño ambiental y de SST con respecto a estos requisitos.	3	3	5	2	
4. Se determinan y revisan las especificaciones de los productos y servicios recibidos y entregados , que incluyen los requisitos aplicables a los proyectos, procesos productos y servicios, bajo una perspectiva integral de calidad, gestión ambiental y SST.	4	3	5	2	
5. Se determinan los conocimientos necesarios para lograr la conformidad de los productos y servicios, se evalúa su disponibilidad en la organización y se definen los mecanismos para adquirir o acceder a los conocimientos adicionales requeridos para planificar, diseñar, desarrollar, producir, entregar y dar soporte a los productos y servicios, teniendo en cuenta un enfoque que en el ciclo de vida cubre los riesgos en materia de calidad, gestión ambiental y SST.	4	3	5	2	
6. Se dispone de métodos para precisar y confirmar los términos ligados a los pedidos y solicitudes de los clientes u otras partes interesadas , en relación con la calidad, la prevención de la contaminación, la SST, y otras componentes de riesgo clave para la organización.	5	2	4	2	
7. Se identifica y da respuesta a las quejas y reclamos de los clientes y las partes interesadas relevantes, considerando la resolución de conflictos y las responsabilidades implícitas, el manejo de no conformidades, y las acciones adecuadas (<i>corrección y acción correctiva</i>).	5	2	4	2	
8. Se evalúa la percepción de los clientes y las partes interesadas relevantes , con relación el desempeño integral de la organización en cuanto a los productos, servicios, procesos, e interacción con los grupos de interés.	5	4	4	2	
9. Se analiza y evalúa la información de los clientes, el mercado y los grupos de interés , como base para la identificación de riesgos y oportunidades, que soporten la configuración, el desarrollo y la administración integral del portafolio de proyectos de nuevos negocios, productos y servicios.	5	4	3	3	
10. Se fortalece la cultura de generación integral de valor y las relaciones positivas con los clientes y las partes interesadas , bajo la perspectiva del aporte común al éxito humano y sostenible .	4	4	3	3	

Figura 11

Ejemplo de ficha de principios con enfoque SGI – QHSE3+ (segunda parte)

Fuente: Elaboración propia

Nuevas tendencias en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas.
 Un enfoque desde estudios iberoamericanos



Opciones

LISTA DE CHEQUEO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 14001:2015										SITUACIÓN ACTUAL	NIVEL DE CONFORMIDAD			
CAP	COMPONENTE	ENFOQUE	Numeral	REQUISITO	%	ID	BUENAS PRÁCTICAS							
4	CONTEXTO	Comprender la Organización, su rol y su contexto, los requerimientos y necesidades de las partes, y emprender el desafío de establecer, implementar, mantener y mejorar el SGC.	4.1	4.1 Comprensión de la organización y de su contexto			1	La organización ha determinado las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito y su dirección estratégica y que afectan a su capacidad para lograr los resultados previstos de su sistema de gestión de la calidad.						
							2	La organización realiza el seguimiento y la revisión de la información sobre estas cuestiones externas e internas.						
			4.2	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas					3	Debido a su efecto potencial o a su efecto directo en la capacidad de la organización de proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, la organización ha determinado: a) Las partes interesadas que son pertinentes al SGC, y b) Los requisitos de estas partes interesadas que son pertinentes al SGC				
									4	La organización realiza el seguimiento y la revisión de la información sobre estas partes interesadas y sus requisitos pertinentes.				
			4.3	4.3 Determinación del alcance del SGC					5	La organización determina los límites y la aplicabilidad del SGC para establecer su alcance.				
									6	La organización aplica todos los requisitos de ISO 9001 aplicables en el alcance determinado de su SGC.				
									7	El alcance del SGC de la organización está disponible y se mantiene como información documentada. El alcance establece los tipos de productos y servicios cubiertos, y proporcionar la justificación para cualquier requisito de esta Norma Internacional que la organización determine que no es aplicable para el alcance de su SGC.				
			4.4	4.4 Sistema de Gestión Ambiental.					4.4.1	La organización establece, implementa, mantiene y mejora continuamente un SGC, incluidos los procesos necesarios y sus interacciones, de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional.				
									9	La organización determina los procesos necesarios para el SGC y su aplicación a través de la organización.				
									4.4.2	En la medida en que sea necesario, la organización: a) mantiene información documentada para apoyar la operación de sus procesos; b) conserva la información documentada para tener la confianza de que los procesos se realizan según lo planificado.				

Figura 12
Ejemplo de Estructura de Lista
de Chequeo y Perfil SGI – QHSE3+
 Fuente: Elaboración propia

3.4 Etapa de configuración y validación de instrumentos para la planificación directiva y operacional del SGI QHSE3+

Se configuraron y validaron positivamente, instrumentos de análisis de riesgos en dos niveles:

En el nivel estratégico, teniendo en cuenta las condiciones particulares del contexto, el *marketing*, y los intereses de las partes para finalmente establecer un protocolo particular que orienta y facilita la política integral y los objetivos, proyectos y programas QHSE3+, dando prioridad a los puntos y las variables críticas de calidad, a los riesgos y oportunidades relevantes de seguridad y salud en el trabajo, asuntos ambientales, rendimiento energético y otros riesgos clave aplicables desde el punto de vista reglamentario o del mercado,

En el nivel operacional, se estableció el protocolo general para la planificación de cada proceso, en cuanto a su operación y control, teniendo en cuenta los riesgos y oportunidades relevantes en los componentes específicos QHSE3+, para establecer medidas de prevención, monitoreo y seguimiento que garanticen que los riesgos y oportunidades se abordan de manera coherente. Estos protocolos se concretan en herramientas de planificación y gestión de riesgos, con plantillas que se han publicado parcialmente en las publicaciones GEES y en el portal www.gees.com.co, y que contribuyen en la aplicación de las Buenas Prácticas por parte de los emprendedores, y en la reducción de la vulnerabilidad de los negocios pymes.

3.5 Etapa de configuración y validación preliminar de instrumentos para la planificación del sistema y del proyecto de implementación del SIG QHSE3+

Se generó y realizó la validación preliminar de los siguientes productos de apoyo, con resultados positivos que ratifican su enfoque y efectividad: 1) Plantilla modelo para el análisis de bloques

de procesos y la determinación de los requisitos aplicables por referencial QHSE3+, mediante matrices de procesos vs requisitos por componente o referencial 9k, 14k, 45k, y 50k, entre otros (ver la Figura 13), 2) Estructura de desglose de trabajos EDT del proyecto, que reúne la totalidad de productos requeridos para implementar el SGI QHSE3+, ordenados en las etapas que determinan la ruta paso a paso del proyecto de implementación (ver las Figuras 14 y 15).

- Configuración Preliminar del Proyecto,
- Revisión Inicial y Contexto del SGI,
- Planificación Directiva del SGI,
- Planificación Operacional del SGI,
- Operación del SGI,
- Evaluar el Desempeño del SGI,
- Mejora del SGI.

Con las matrices procesos vs requisitos aplicados al SGI, para cada una de las normas de referencia aplicables, como hubiera podido ser el caso especial de ISO 27001 en una empresa prestadora de servicios en salud, es posible analizar qué procesos responden por cuáles requisitos de cada una de las normas, considerando niveles principales y de apoyo. Con la aplicación de este instrumento se facilitó el estudio y comprensión de los requisitos en cuanto a su aplicación en cada proceso. Por otra parte, la herramienta contribuye también en la visualización del conjunto e interacción general de los procesos y macroprocesos de la institución y su correlación con los bloques de requisitos, que es un aspecto clave de la configuración de los SGI.

Con respecto a la matriz grilla la ruta de implementación y Estructura de Desglose de Trabajos (EDT) (Figuras 13, 14, 15) se observa lo siguiente en cuanto a resultados y características:

Permite visualizar los “productos entregables” del proyecto de implementación, las etapas y su aplicación por cada principio de gestión, o también por cada perspectiva del tablero de comando, que fue una alternativa empleada también en varios casos piloto.

Incluye, además de los productos requeridos para cumplir cada uno de los requisitos de las normas 9k, 14k, 45k y 50k, los productos adicionales relacionados con la formación clave en inducción, motivación, conceptos, planificación, realimentación, comprensión, interpretación y auditoría de los requisitos QHSE3+.

Incluye en la segunda columna, llamada “configuración preliminar del proyecto”, las acciones correspondientes a la realización y análisis del diagnóstico, la configuración del plan a partir del balance entre lo que hay y lo que hace falta en la organización con respecto a los requisitos de las normas, y a los entregables planteados en la grilla.

Con esta Estructura de Desglose de Trabajos (EDT) de productos entregables o grilla de implementación se observa pedagógicamente la ruta y lógica general del proyecto, al tiempo que se sienta una base general para estructurar y particularizar el plan maestro de implementación, con tareas, responsables, elementos de apoyo, recursos requeridos y seguimiento al cumplimiento en la generación de los entregables que permitirán dar respuesta a los requisitos o “debe” de cada norma, y poner en aplicación las buenas prácticas asociadas a cada numeral de los referenciales QHSE3+. Esto se validó con suficiencia y resultados positivos en las aplicaciones preliminares ya realizadas.

**Modelo conceptual y ruta para
implementar un sistema de gestión integral QHSE3 + en PYMES**

ETAPAS	CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DEL PROYECTO	REVISIÓN INICIAL Y CONTEXTO DEL SGI	PLANIFICACIÓN DIRECTIVA DEL SGI
	UNO	DOS	TRES
PRINCIPIOS			
Enfoque al Cliente y a los Grupos de Interés		1. Matriz de interesados vs necesidades, expectativas y requisitos 2. Matriz de clasificación y segmentación de clientes y grupos de interés 3. Evaluación de incidentes críticos: qué le gusta, qué no, qué le gustaría	
Liderazgo	0.1 Diagnóstico del SGI (Por principios - Por requisitos) 0.2 Plan del proyecto de implementación del SGI 0.3 Lanzamiento del Proyecto de implementación del SGI	4. Información de actores y factores del contexto 6. Análisis estratégico del contexto 7. Información documentada Alcance del SGI 8. Declaración del Compromiso Gerencial.	9. Política Integral Despliegue y evaluación 10. Mapa de riesgos estratégicos del negocio 11. Objetivos SGI 12. Planes y proyectos estratégicos para la competitividad del negocio
Compromiso de las Personas.	0.4 Plan de formación - F1: Fundamentos, principios y requisitos del SGI 0.5 Plan para la toma de conciencia y el compromiso	0.4 Plan de formación - F2: Vigilancia y Análisis del contexto 0.4 Plan de formación - F3: Planificación Directiva del SGI - F4 Riesgos SGI	0.4 Plan de formación - F4: Planificación Operacional y Gestión/procesos SGI 15. Modelo organizacional del SGI por procesos.
Enfoque a Procesos		14. Modelo de operación del SGI por procesos 20. Planes de operación y control de procesos basado en riesgos SGI. 22. Planificación información docum para operación y ctrl procesos vs riesgos. 23. Disposiciones para la liberación de productos y servicios 24. Directrices para el control de la salidas no conformes de los procesos	25. Evidencias de asignación del personal requerido 26. Plan de mantenimiento de infraestructura 27. Planes de mtmto y adecuación de condiciones físicas y psicosociales 28. Plan de mantenimiento y confirmación metrológica 29. Plan de gestión de conocimientos de la organización.
Gestión de las relaciones			16- Plan de comunicaciones internas y externas del SGI 31. Plan Ctrl procesos, productos y servicios suministrados ext.
Gestión de hechos y datos para la toma de decisiones		5. Informe de análisis del desempeño del SGI (Satisfacción, Reclamos, No conformidades...vulnerabilidad)	
Mejora			18. Plan para la gestión del cambio del SGI 17. Acciones de mejora vs partes, riesgos y oportunidades, NC y SMAE.

Figura 14
Grilla EDT de Implementación Paso a Paso
del SGI QHSE3+ (primera parte)

Fuente: Elaboración propia

Nuevas tendencias en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas.
 Un enfoque desde estudios iberoamericanos

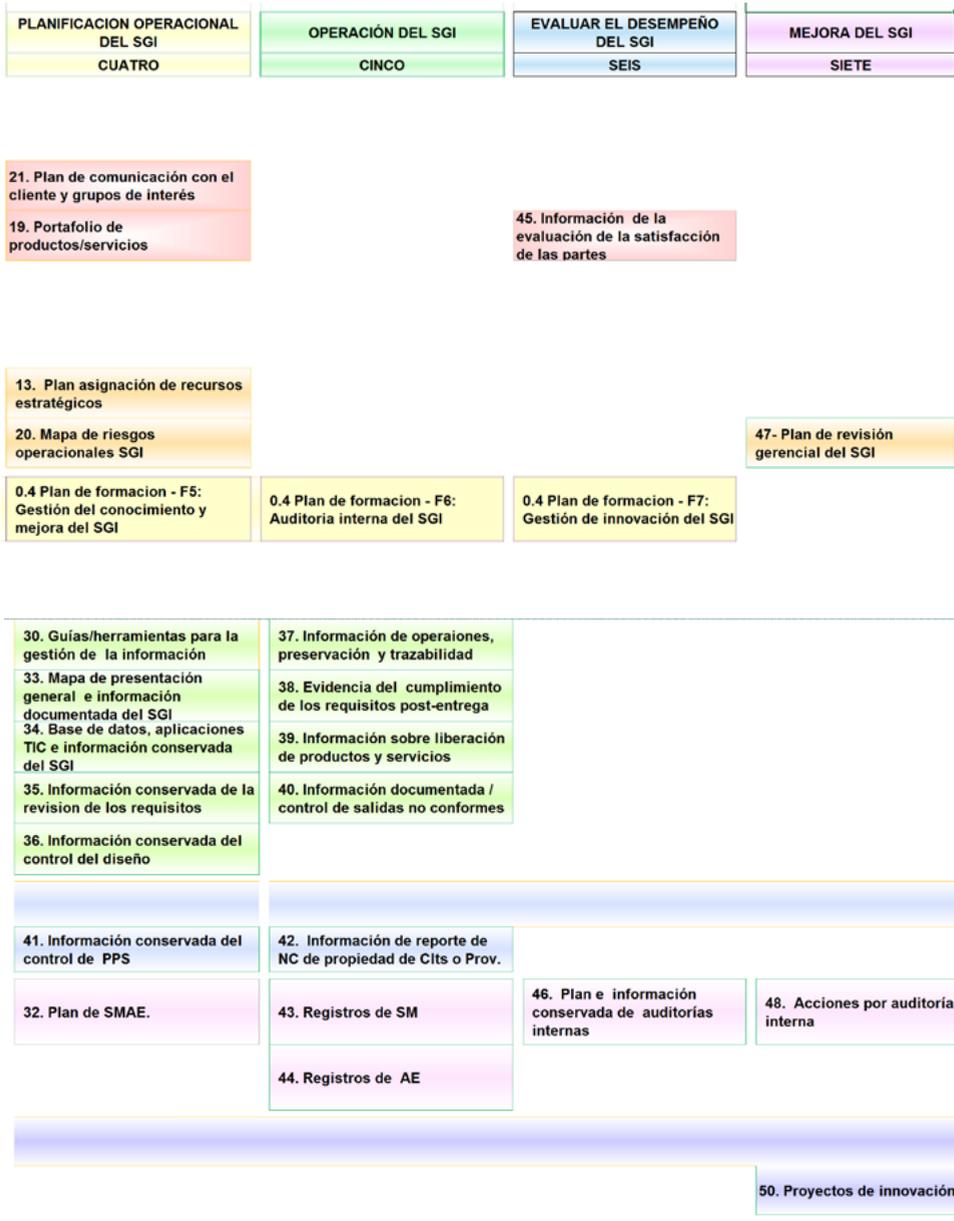


Figura 15
 Grilla EDT de Implementación Paso a Paso
 del SGI QHSE3+ (segunda parte)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Figura 16, con la lógica estructural y operacional del modelo, se aprecia la correlación entre el componente GIR y el modelo propiamente dicho del SGI QHSE3+, dado que la función de riesgos y oportunidades es transversal al SGI 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.

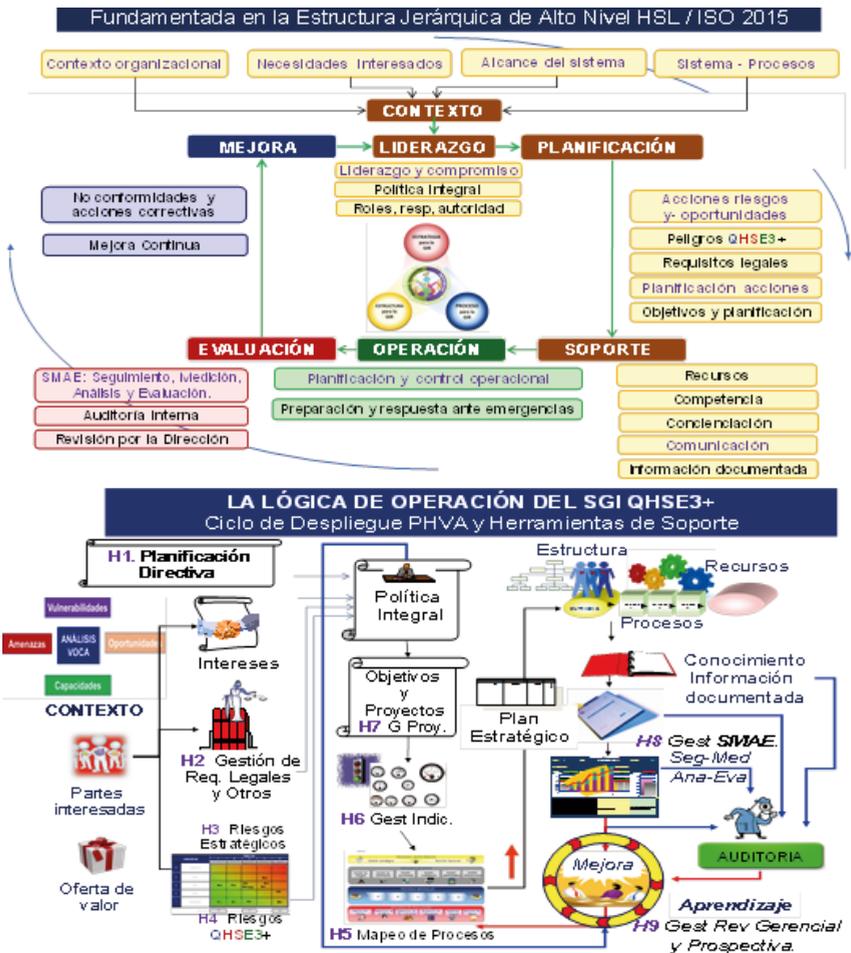


Figura 16
Lógica estructural y de funcionamiento del SGI QHSE3+
Fuente: Elaboración propia

3.6 Casos de aplicación, lecciones aprendidas y proyecciones

Con la Figura 16 se presenta la secuencia lógica de operación del SGI y la referencia a herramientas de soporte, que facilitan su aplicación, diferenciadas 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 Tablero de Indicadores (H6).

La Planificación Operacional QHSE3+ (H4), que incluye 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).

A la fecha de la presentación de este documento se ha iniciado un piloto general de aplicación contra las normas revisadas, y se encuentra en pre-prensa el volumen dos de la serie de libros GEES.

El enfoque de la configuración del Proyecto para la implementación del SGI y la configuración general de las herramientas ha sido validada en retrospectiva por los autores en Proyectos BID-FOMIN con la 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. 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, Pérez-Escurdia, Echeverría & Villanueva, 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 analizado 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.

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 componentes 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, los principios y conceptos, y las herramientas, para ponerlas efectivamente al servicio de los emprendedores y las pymes.

4. CONCLUSIONES

Se resumen a continuación, los puntos de innovación, aportes, y 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.

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 uno 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 riesgos y en los principios de gestión, y ajustado a la estructura de alto nivel HLS, con referencia a las buenas prácticas definidas y/o actualizadas en las revisiones de las normas ISO 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 uno de los 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:

$$\% DismVul = \left[\sum_{i=1}^n (Po_i) (Go_i) - \sum_{i=1}^n (Pf) (GF_i) \right] / \left[\sum_{i=1}^n (Po_i) \cdot (Go_i) \right]$$

(Ecuación 1)

Donde:

- % *DismVul* corresponde al porcentaje de disminución de la vulnerabilidad,
- Po_i y Go_i representan la valoración inicial de la posibilidad y la gravedad de cada riesgo,
- Pf_i y Gf_i 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 pymes con herramientas sectoriales para los diferentes tipos de empresas en esta clasificación 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).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Capelleras, J. L. & Kantis, H. D. (2009). *Nuevas Empresas en América Latina. Factores que favorecen su rápido crecimiento*. Barcelona, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- CCS (2017). *Guía del Sistema de Seguridad, Salud en el Trabajo y Ambiente para Contratistas RUC*. Recuperado desde el Consejo Colombiano de Seguridad: [http://ccs.org.co/img/OAUPE009_GUIA_PARA_CONTRATISTAS_RUC_REV_16_2016_02_17\(2\).pdf](http://ccs.org.co/img/OAUPE009_GUIA_PARA_CONTRATISTAS_RUC_REV_16_2016_02_17(2).pdf)
- CEE (2003). C2003 1422 Definition of micro, small and medium enterprises. *Official Journal of the European Union*, pp.L 124/36 - L 124/41.
- CEPAL (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Santiago de Chile, Chile: United Nations Publications.

- Cervera Cárdenas, J. (2013). Aplicación del seis sigma en los modelos de gestión de la calidad. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 1(2). DOI: 10.17081/invinno.1.2.2061.
- Del Caño, A. & De la Cruz, M. (2002). Integrated Methodology for Project Risk Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(6), 473-485.
- GEM (2015). *Informe GEM*. Madrid, España: Red GEM SISE UCEIF.
- Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3-22.
- 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.
- ISO (2015). *ISO Survey*. Geneva, Switzerland: Author.
- Jefatura del Estado Español (2013). *BOE-A-2013-10074 Ley de apoyo a los emprendedores y a su internacionalización*. Madrid, España: BOE España.
- Kaplan, R. & Norton, D. (1993). Putting the balanced scorecard to work. *Harvard Business Review*, 134-142.
- Marcelino-Sádaba, S., Pérez-Escurdia, A., Echeverría, A. & Villanueva, P. (2014). Project risk management methodology for small firms. *International Journal of Project Management*, 32(2) 327-340.
- Porter, M. (1991). *La ventaja competitiva de las naciones*. Buenos Aires, Argentina: Plaza & Janés.
- Poveda, P. & Cañón, G. (2009). *Herramientas para implementar un sistema de gestión de calidad según ISO 9001*. (4ta. edición). Bogotá, Colombia: ICONTEC.
- Poveda, P. & Cañón, G. (2015). *Guía para la gestión integral de riesgos. Comprender, decidir y actuar con inteligencia para el éxito sostenible*. Bogotá, Colombia: ICONTEC.
- Poveda, P., García-Díaz, J. C. & Hernandis, B. (2016). Aplicación del método sistémico al diseño de un modelo conceptual para sistemas

integrales de gestión QHSE3+ en pymes. *Systems & Design. Beyond Process and Thinking 2016. Electronic Book Proceedings* (pp.651-664). Valencia, España.

Poveda, P., García-Díaz, J. C. & Cañón-Zabala, G. (2017). Modelo conceptual para la planificación, implementación y operación de sistemas de gestión integral QHSE3+ conformes con las normas ISO 9001, 45001, 14001 y 50001. En: Pulido-Rojano, A., De la Hoz-Reyes, R. & Melamed-Varela, E. (Eds.). *Avances en investigación de operaciones y ciencias administrativas*. Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Prisma Consultoría (2016). *ISO 9001 en Latinoamérica*. Bogotá, Colombia.

Pulido-Rojano, A. (2015). Methodological design for the prevention of risk in production processes. *DYNA*, 82(193), 16-22. Doi: 10.15446/dyna.v82n193.42903

Pulido-Rojano, A. & Bocanegra-Bustamante, C. (2015). Mitigación de defectos en productos manufacturados. *Ingeniería y Competitividad*, 17(1), 161-172. Doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v17i1.2211>

Sánchez, B. (2003). El entorno empresarial y la teoría de las cinco fuerzas competitivas. *Scientia et Technica*, 9(23), 61-66.

Cómo citar este capítulo:

Poveda-Orjuela, P., García-Díaz, C. & Cañón-Zabala, G. (2018). Modelo conceptual y ruta para implementar un sistema de gestión integral QHSE3+ en pymes. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.115-164). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Simulación de sistemas de emergencia en salud

PAOLA ANDREA SÁNCHEZ-SÁNCHEZ¹
JOSÉ RAFAEL GARCÍA-GONZÁLEZ²
CARLOS HERNÁN FAJARDO TORO³
ALEXANDER DE JESÚS PULIDO-ROJANO⁴
ENRIQUE MELAMED-VARELA⁵

-
- 1 Doctora en Ingeniería. Grupo de Investigación Ingebiocaribe. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
psanchez9@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-3320-016X>
 - 2 Doctor en Ciencias Pedagógicas. Grupo de Investigación Educación, Ciencias Sociales y Humanas. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
jgarcia122@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-3365-6095>
 - 3 Universidad EAN, Colombia.
chfajardo@universidadean.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-6953-1630>
 - 4 Doctor en Estadística y Optimización. Grupo GEMAS. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
apulido3@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0001-5599-7977>
 - 5 Administrador de Empresas. Grupo Gestión Organizacional. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
emelamed@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0001-7519-4450>

RESUMEN

La representación de un sistema de salud requiere, entre otros elementos, considerar a fondo los componentes que intervienen, medir con certeza los valores de las variables y las eventualidades que puedan ocurrir. En este trabajo se estudian tres casos de aplicación de modelos de simulación en sistemas de salud, tomados de casos reales, en sistemas de las ciudades de Barranquilla, Medellín y Bogotá, los cuales exhiben algunas similitudes en cuanto a procesos, pero grandes diferencias en tiempos de ejecución; razón por la cual admiten diferentes escenarios de solución a las problemáticas planteadas en cada caso. Los resultados demuestran que los modelos de simulación son herramientas de gran utilidad, al permitir ejemplificar casos reales donde interviene un número elevado de componentes, y cuya interacción es compleja, y para ilustrar diferentes escenarios y a partir de estos, plantear soluciones a problemas inherentes.

Palabras clave: modelamiento, simulación discreta, sistemas de salud, toma de decisiones.

ABSTRACT

The representation of a health system requires, among other things, to thoroughly consider the components involved, to measure with certainty the values of the variables and eventualities that may occur. In this paper three cases of application of simulation models in health systems, taken from real cases, are studied in systems of the cities of Barranquilla, Medellin and Bogota, which exhibit some similarities in processes, but great differences in execution times; which is why they allow different scenarios of solution to the problems raised in each case. The results show that the simulation models are very useful tools, allowing to exemplify real cases involving a sometimes-high

number of components, whose interaction is complex, and to illustrate different scenarios and from these, to propose solutions to inherent problems.

Keywords: modeling, discrete simulation, systems of health, decision making.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de cuidado en salud se entiende como uno de servicio puro que se caracteriza por una alta participación humana tanto a nivel de recursos (médicos, enfermeras, especialistas, entre otros), como al nivel de entidades (pacientes). El desempeño de tal sistema, tal como lo describen Moreno-Chaustre *et al.* (2014), a menudo se convierte en un desafío tanto a nivel de diseño, control y mejora frente la variabilidad inherente al comportamiento humano. Así mismo, el resultado del diagnóstico del paciente es asociado con múltiples, y se relacionan con la cantidad y calidad de los recursos y la cadena de procesos en la atención, razón por la cual la variabilidad está estrechamente relacionada con los largos tiempos de espera en la atención y el bajo rendimiento (Caballos, Betancur & Betancur, 2014).

Debido a la complejidad de los sistemas de salud, la simulación de eventos discretos ha demostrado ser una herramienta eficaz para la mejora del proceso (Barnes & Laughery, 1998; Benneyan, 1997), particularmente cuando se combina con la gestión de la calidad total y técnicas para el mejoramiento continuo de la calidad. El Departamento de Emergencias es el área central donde miles de los pacientes acuden cada año, es por esto, que la calidad del servicio de un centro de atención en salud depende del desempeño de dicha área. Diversos estudios se han realizado para incrementar la eficiencia del área de emergencias utili-

zando técnicas de simulación, la mayoría orientados a reducir los tiempos de espera, optimizar los tiempos de atención y mejorar el rendimiento de los procesos asistenciales (Gutiérrez, Almeida & Romero, 2017; Komashie & Mousavi, 2005; Saunders, Makens & Leblanc, 1989) o aumentando el tamaño y la operación del Departamento de Emergencia, a través de la creación de nuevos procesos (Ruohonen, Neittaanmäki & Teittinen, 2006; Samaha, Armel & Starks, 2003).

Ahora bien, toda estrategia que se implemente para ser competitivo exige la gestión eficiente de las áreas que integran una organización, es así como la concepción de *sistema* entra a ser de gran importancia ya que define y contiene todos los procesos necesarios para generar valor en la organización, y además permite el mejoramiento de dichos sistemas productivos y la adecuada gestión de recursos (Arbós, 2012; Pan & Pokharel, 2007), y la sincronización entre los diferentes eslabones que conforman la secuencia de procesos y los factores que el cliente valora (Chávez & Torres, 2012; Roseira, Brito & Henneberg, 2010; Cannon, Doney, Mullen & Petersen, 2010).

Aunque la concepción de la organización como un sistema ha sido siempre un factor importante en toda empresa en la que se ha embarcado el hombre, desde hace tres décadas ha quedado claro que las empresas no pueden trabajar de forma aislada, es decir, deben ser conscientes de tal interacción (Virolainen, 1998; Quintens, Pauwels & Matthyssens, 2006; Yenyiurt, Henke & Cavusgil, 2012; Lummus & Vokurka, 1999). Lo anterior se puede justificar en la velocidad y flexibilidad que requiere la organización para competir dada la exigencia de clientes en aspectos como velocidad, disponibilidad y personalización, así como una competencia más agresiva, obligando a trabajar más de la

mano con proveedores, clientes y colaboradores (Giannakis & Croom, 2004; Mentzer, Keebler, Nix, Smith & Zacharia, 2001; Day, Magnan & Moeller, 2010; Virolainen, 1998; Ramasesh, 1990; Yeniyurt *et al.*, 2012).

Como se mencionó, los sistemas de salud están orientados a servicios (Al-Balushi *et al.*, 2014; Cotta *et al.*, 2001). Como tal, tiene que estar ajustando tanto la capacidad como los recursos que posea (Cordero-García, Jiménez, León-Rodríguez & Salazar-Valerio, 2012; De Vries, 2011; Little & Coughlan, 2008). Adicionalmente, los procesos de trabajo comienzan solo una vez es solicitado, es decir, va en función de las personas a ser atendidas y del tipo de problema de salud que presentan (Samuel, Gonapa, Chaudhary & Mishra, 2010).

Es importante precisar que la salud es considerada como un bien y un derecho fundamental de las personas (Herazo, 2010), pero se observa que en ocasiones no se cumple con este principio conduciendo a la prestación de un servicio no adecuado por parte de las entidades encargadas, lo cual se traduce en fallas y quejas de los usuarios (Vargas-Lorenzo, Vázquez-Navarrete & Mogollón-Pérez, 2010; Little & Coughlan, 2008; Mettler & Rohner, 2009).

Los estudios e investigaciones desarrolladas por De Vries (2011), confirman la validez de lo expuesto por Nicholson, Vakharia & Selcuk (2004), los cuales evidencian que, a pesar del incremento de investigaciones e inversiones en desarrollos para la mejora de procesos organizacionales en sectores industriales, hay una baja existencia de propuestas de diseño e implementación de sistemas de control en el sector salud.

De igual forma, en Colombia hay muy pocos estudios relacionados con la mejora de procesos en el sector salud (Balcázar, López & Adarme, 2016; García, Valdivieso, Margarita, Vallejo, Fernando & Silva, 2009).

Debido a la naturaleza de la competencia y regulaciones, el entorno de salud ha cambiado ostensiblemente, así como también debido a las asociaciones de pacientes y a la necesidad de prestar un servicio sanitario más eficientemente tanto por rentabilidad como por marcos legales. Para ello se hace necesario según De Vries & Huijsman (2011) llevar a cabo el diseño de lo que se podría llamar una arquitectura organizacional, la cual permita:

Integración y coordinación de planificación de procesos

Integración y coordinación de procesos

Integración y coordinación de flujos e información

Integración de procesos intra e inter organizacionales

Integración del enfoque de mercado

Integración del desarrollo de mercado.

Pan & Pokharel (2007) establecen que todos los tipos de proveedores de salud, desde los grandes hospitales hasta pequeños centros de salud, se caracterizan por tener dos cadenas de abastecimiento, una que se puede considerar interna, donde se dispone de sus propios recursos físicos y de personal, y otra de tipo externo. Esto implica que deben enfocar las relaciones externas de tal manera que se logre la minimización de costos y a su vez una administración adecuada de la cadena interna que logre maximizar los niveles de servicio.

Lee, Lee & Schniederjans (2011) afirman que adicional a las dos cadenas anteriormente mencionadas, se realizan actividades propias del negocio, así como operaciones que integran flujos de recursos y capacidades para la entrega del servicio. Por otra parte, Burns (2002), Pedroso & Nakano (2009) y Pitta & Laric (2004) establecen que dicha cadena está compuesta, de forma más específica por diferentes actores: i) los productores del sector salud tales como laboratorios, empresas TI o de servicios externos, ii) Intermediarios: tales como distribuidores o vendedores de insumos, iii) los proveedores como hospitales, centros de atención y médicos, iv) Intermediarios Fiscales como las compañías de seguros y v) clientes o consumidores de los servicios que van desde el Gobierno mismo hasta los individuos que solicitan un servicio. Lee, Lee & Schniederjans (2011), establecen que la cadena de abastecimiento presenta tres tipos de flujo: el físico, el de información y el financiero.

Ahora bien, todo el sector salud se encuentra restringido o afectado por aspectos tales como (García *et al.*, 2009; McKone-Sweet, Hamilton & Willis, 2005):

Su cadena de Abastecimiento está fuertemente regulada por marcos legales locales e internacionales

Es difícil la estandarización por la naturaleza de tecnologías y productos

Hay un continuo cambio tecnológico debido a perfiles epidemiológicos, así como nuevas técnicas

Alta variabilidad e imprevisibilidad de comportamientos

Alto costo de implementación de sistemas de información dada la complejidad del sistema

Know-how alto para desarrollar muchos productos y ejecutar procesos.

Son estos factores importantes a ser tenidos en cuenta al momento de definir cualquiera de las estrategias que se desee implementar en los eslabones de la cadena.

Ahora bien, existen diferentes técnicas que permiten la representación de la cadena de abastecimiento, o en general del sistema de procesos de una organización, entre ellas los modelos de simulación.

La simulación es una herramienta que resulta muy útil en lo que son problemas de muy alta complejidad y donde una solución algorítmica no existe o es muy difícil de ser implementada (Sánchez-Sánchez, Ceballos & Sánchez, 2015). Los problemas asociados a decisiones en salud son muy amplios y de diferente complejidad, donde la simulación resulta siendo importante para decisiones adecuadas o para entrenamientos de alta exigencia.

Hay sistemas diseñados para entrenamientos médicos como derrames cerebrales (Monks, Pearson, Pitt, Stein & James, 2015), que van desde la simulación para construir modelos que les permiten establecer mejor un diagnóstico de trombosis (Churilov *et al.*, 2013), así como el mejoramiento de procesos y tiempos de atención cuando se presenta este problema (Uzun Jacobson, Bayer, Barlow, Dennis & MacLeod, 2015), logrando en dichos casos tanto mejores y más eficientes diagnósticos como mejores tiempos de atención.

Por otra parte, la simulación también resulta útil en la programación de ambulancias (Jagtenberg, Van den Berg & Van der Mei,

2016; McCormack & Coates, 2015), sistemas de entrenamiento y mejoramiento de competencias tanto a funciones específicas como interprocesos (Darragh *et al.*, 2016; Fernando *et al.*, 2017), entrenamientos para cuidados de salud domiciliarios (Guise & Wiig, 2016).

Uno de los aportes importantes que hacen los sistemas de simulación tiene que ver con el manejo de la capacidad y el flujo eficiente de pacientes para la definición de dicha capacidad. A través de este método, se logran optimizar unidades de cuidados médicos (Ahmed & Alkhamis, 2009), eficiencia en el uso de salas de operación (Neyshabouri & Berg, 2016), el control de las líneas de espera para el acceso a atención de emergencia (Niyirora & Zhuang, 2017), la reasignación de pacientes (Andersen, Nielsen & Reinhardt, 2017) y la implementación de sistemas esbeltos –lean– aplicados a Departamentos de Urgencias (Robinson, Radnor, Burgess & Worthington, 2012).

En este trabajo se utiliza la simulación discreta como herramienta para la optimización de procesos en sistemas de urgencias en salud a través del estudio de tres casos reales de aplicación, en sistemas de salud en las ciudades de Barranquilla, Medellín y Santa Fe de Bogotá, los cuales exhiben algunas similitudes en cuanto a procesos y problemáticas asociadas, pero grandes diferencias en tiempos de ejecución. En lo restante de este documento se expone la metodología general para la representación a través de modelos de simulación de sistemas de salud, la cual es posteriormente aplicada en tres casos reales de sistemas de emergencia y donde son evaluadas diferentes alternativas de solución a las problemáticas planteadas en cada caso y se discuten los resultados obtenidos; finalmente, se presentan las conclusiones del estudio.

2. METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE SALUD

2.1 Diseño general

La metodología utilizada para el análisis del proceso de simulación de sistemas de salud se ilustra en la Figura 1, la cual exhibe el proceso global utilizado para la implementación computacional de los respectivos modelos de simulación.

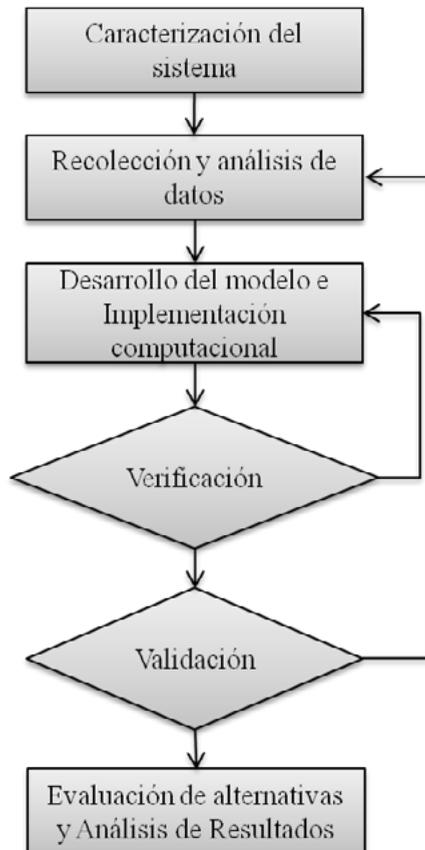


Figura 1
Metodología para la implementación y análisis del modelo de simulación
Fuente: Elaboración propia

El análisis del sistema real a través de su representación implica, para modelos matemáticos, el cual debe ser manipulable numéricamente. Su ejercicio de construcción, por lo tanto, comienza desde la caracterización del sistema hasta alcanzar la implementación de un modelo apto para representar adecuadamente su funcionamiento y, que a su vez permita interactuar para evaluar diferentes escenarios alternativos. Por tal razón, la metodología seleccionada orienta la realización de modelos computacionales del sistema, considerando la estructura formada por componentes del sistema real, es decir, las variables, parámetros y sus relaciones. La vinculación entre componentes permite visualizar el comportamiento de variables y parámetros dentro de un componente específico o entre todos los factores del sistema a modelar.

2.2 Caracterización del sistema

La construcción de un modelo de simulación implica en primera instancia la definición del sistema, es decir, los objetivos que se quieren con el modelo y el conjunto de elementos que se van a incluir y excluir de este. Es así como, la etapa de caracterización del sistema abarca desde la descripción global del sistema real y el objetivo de la simulación, hasta la identificación de las variables (entidades), sus atributos (propiedades) y las relaciones con otras variables.

Ahora bien, se debe procurar un nivel de detalle adecuado, esto es, ni tanto, ni tan poco. Una descripción rigurosa puede no aportar información adicional relevante y conducirá a un tiempo de desarrollo mayor, mientras que un nivel de detalle pobre conduce a resultados poco confiables, y por tanto un modelo inútil.

Por otro lado, una definición clara y precisa de los objetivos y del problema facilitan el planteamiento de alternativas de solución potencialmente útiles y evita el estudio de posibilidades infructuosas.

La identificación adecuada de las variables y sus atributos permite evaluar de forma correcta la eficacia y eficiencia del sistema bajo diferentes escenarios, y facilita el manejo estadístico de los datos.

Finalmente, las relaciones con otras variables favorecen la identificación de las reglas que gobiernan el sistema y los flujos de recursos a través de él.

2.3 Recolección y análisis de datos

La recopilación de datos es una de las tareas más importantes, difíciles y cambiantes, que enfrenta un constructor de modelos en cualquier simulación (Süer, Subramanian & Huang, 2009), y se refiere al proceso de alimentar el modelo con diferentes valores de las variables, los cuales son representativos del comportamiento del sistema real en situaciones habituales, no extremas. La precisión de los resultados y conclusiones en los estudios de simulación a menudo depende de la alta calidad de los datos de entrada recopilados. Tan es así, que datos de pobre calidad o recopilados de forma inadecuada, pueden conducir a resultados engañosos en el modelo, aun siendo el modelo válido y representativo del sistema real. Así mismo, es crítico para el diseño y validación del modelo.

La fuente de los datos puede ser primaria o secundaria; la primera proviene de datos históricos o recopilados para el estudio, y la segunda de la simulación de alguna distribución teórica que

es razonable suponer tiene alguna similitud con el proceso generador de los datos reales.

El análisis de los datos se refiere al proceso orientado a ajustar dichos datos a una función de distribución estadística que represente adecuadamente el comportamiento de estos y el cálculo de parámetros para los diferentes atributos de las variables que faciliten la validación y verificación del modelo; por tal razón, el análisis de los datos a menudo incluye el cálculo de funciones de distribución, promedios y tasas.

En el contexto de sistemas de emergencia en salud los datos son de dos tipos, tiempos de espera y atención, y número de pacientes que transitan por el sistema. Los tiempos de espera hacen referencia al tiempo consumido desde el final de una actividad o evento y el inicio de la siguiente en el proceso, mientras que el tiempo de atención se refiere al lapso ocupado para completar una actividad.

2.4 Procedimientos

El desarrollo del modelo se refiere a la representación conceptual de los procesos, las variables (entidades) y los diferentes flujos que constituyen el sistema real; mientras que la implementación se refiere a plasmarlo en un *software*.

El desarrollo del modelo, a menudo, implica el establecimiento de los límites del sistema, la representación en un esquema de procesos y de la distribución física de las variables y sus flujos, seguido de una clara descripción de cada elemento, su función y el número de recursos disponibles en el esquema. Esto es por ejemplo, si el proceso hace referencia a la recepción de usuarios

y existen dos ventanillas habilitadas con las mismas funciones, se trata de un solo proceso llamado recepción con dos recursos, pero si en cada ventanilla se atienden usuarios con características diferentes, se trata de dos procesos separados.

La implementación depende de la naturaleza del *software* que se use, que puede ir desde lenguajes o paquetes de programación (como *Java*®, *Matlab*®, *R*®) hasta el uso de sistemas específicos para simulación de sistemas discretos (como *Simul8*®, *Arena*®, *Flexsim*®, *Promodel*®, entre otros). El uso de programas de simulación exhibe un mayor beneficio al permitir, no solo emular visualmente el funcionamiento del sistema real, sino que además facilita los cálculos de tiempos de espera de los pacientes, tiempos de atención y permite representar diferentes escenarios alternativos.

En sistemas de urgencias, el flujo aleatorio de pacientes tiene tres características:

Es regido por enfermedades y accidentes estacionales, en épocas de invierno se incrementa el número de pacientes que son diagnosticados por enfermedades respiratorias, influenza, dolor de garganta, articulaciones y herpes, mientras que en verano se incrementa el número de pacientes con lesiones como fracturas, enfermedades estomacales, alergias, quemaduras y picaduras de insectos;

Depende del día de la semana, siendo común la aglomeración los días lunes y viernes;

Existe un incremento de llegadas durante horas del día en lugar de horario nocturno, esto es de 8:00am a 7:00pm, con picos diferenciales en las horas de la tarde.

2.5 Verificación y validación del modelo

Se espera que un modelo de simulación sea válido y veraz. La verificación consiste en el conjunto de acciones destinadas a garantizar una correcta programación, es decir, a conseguir que realice las acciones conforme se desea que tengan lugar de acuerdo con el modelo conceptual; por lo tanto, es veraz en la medida que ofrece una correcta implementación del modelo de simulación, la cual está estrechamente relacionada con el lenguaje de programación o *software* de simulación elegido. Es así como, en la etapa de verificación se evalúa la coherencia y consistencia de los resultados arrojados por cada proceso del modelo en la implementación y el modelo en general. Por ejemplo, se verifica que las variables almacenen los valores correctos, los diferentes elementos que representan puestos de trabajo o de atención, colas, etc. contengan los recursos adecuados, etc.

La validación tiene por objetivo garantizar que el modelo de simulación represente de forma precisa y adecuada el comportamiento del sistema real, por lo tanto, un modelo es válido si representa adecuadamente (con algún grado de fidelidad) el sistema real. En la validación se contrastan los resultados de salida del modelo con los datos reales recopilados. Un modelo válido debe permitir simular la toma de decisiones que pueden (o se podrían) tomar en el sistema real.

2.6 Evaluación de alternativas y análisis de resultados

La evaluación de alternativas se refiere a la prueba de diferentes escenarios que el modelador considere pueden, de una u otra forma, contribuir a solventar problemas del sistema real, tales como, tiempos de espera largos, tiempos de ocio altos, desapro-

vechamiento de espacios físicos, etc. El diseño de las alternativas se basa en la consideración de cambios en la frecuencia y cantidad de los recursos físicos y humanos de tal forma que se alcance una economía en el uso de los recursos, sin superar su capacidad.

La etapa de evaluación de alternativas, por lo tanto, concluye con recomendaciones que aporten a la toma de decisiones asertivas para el mejoramiento del sistema.

El análisis de los resultados arrojados por un modelo de simulación se soporta en la correcta ejecución del modelo y en la realización de un número adecuado de repeticiones (generalmente, entre cinco y diez); esto último, con el fin de evitar que la interpretación sea sesgada por el inherente carácter aleatorio del modelo.

El análisis de los resultados, a menudo, se hace con base en cálculos de valores medios de las variables de salida del modelo, intervalos de confianza y probabilidades asociadas al funcionamiento del sistema.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se hace uso de la metodología descrita en los tres casos de estudio referentes a la simulación de servicios de urgencias de salud en tres ciudades de Colombia. El objetivo de la simulación es contribuir a una adecuada distribución y organización de los espacios físicos y el personal, así como la mejora en el proceso de atención de pacientes brindando menores tiempos de espera y de permanencia en la clínica. Por lo anterior, para todos los casos, se consideran como variables de control

los recursos humanos, médicos y auxiliares de registro, y los recursos físicos, cubículos y taquillas de registro.

Así mismo, de forma general, se considera que el proceso estándar de atención de pacientes de urgencias en los tres casos estudiados corresponde al esquema presentado en la Figura 2.



Figura 2
Diagrama estándar de procesos - Unidad de Urgencias de salud
 Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las características particulares de la simulación de cada uno de los casos.

3.1 Caso I: Unidad de Urgencias y Emergencias de la clínica Las Américas – Medellín

3.1.1 Caracterización del sistema

La clínica Las Américas de Medellín es un centro hospitalario dedicado a brindar servicios de mediana y alta complejidad, categorizado como Institución Prestadora de Salud (IPS) de tercer nivel por el Ministerio de Salud de Colombia. La Unidad de Urgencias y Emergencias de la clínica dispone de un espacio de atención separada para pacientes en estado de emergencia (situaciones donde la vida del paciente está comprometida, o con riesgo inminente de secuelas graves y, por tanto, requiere atención inmediata) y en estado de urgencia (situaciones donde

la vida del paciente no está comprometida, pero requiere de atención oportuna para evitar secuelas).

La Unidad de Urgencias es responsable del triage (clasificación de gravedad, sintomatología y problemas de salud que presenta un paciente cuando llega al servicio de urgencias y que define su prioridad de atención) y el tratamiento de pacientes que ingresan a la clínica Las Américas en estado de urgencias. La unidad está abierta las 24 horas del día y atiende más de 20.000 pacientes al año. Dicha unidad dispone de 28 cubículos para la atención de los cuales 10 son reservados para menores de 15 años, y ocho se reservan para la atención prioritaria de pacientes (en estado de emergencia).

La Figura 3 muestra la distribución física de la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas, con cinco zonas: llegada de pacientes y sala de espera (Zona 0), cubículos de atención general (Zona 1), Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y atención prioritaria (Zona 2), cubículos de atención infantil (Zona 3), y área de llegada de ambulancias (Zona 4).

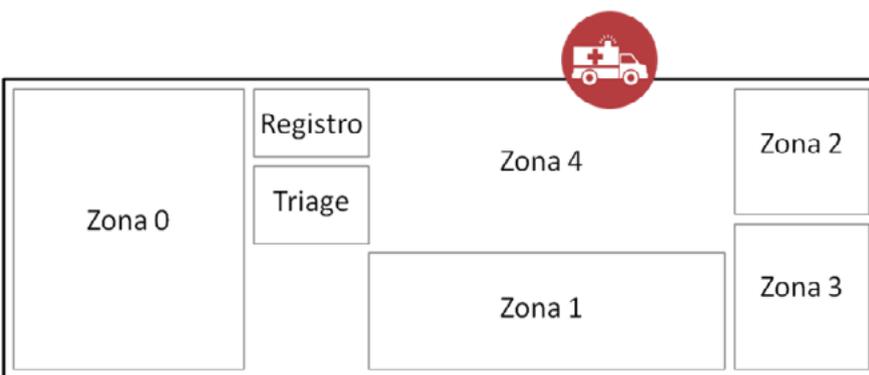


Figura 3
Distribución física Unidad de Urgencias Clínica Las Américas
Fuente: Elaboración propia

Para la atención en la Unidad de Urgencias se dispone de dos taquillas de registro con un auxiliar en cada una, que laboran en turnos de ocho horas, seis médicos para la atención en el día y tres médicos en la noche, los cuales atienden de forma alternada el triage y las Zonas 1 y 3. Los médicos laboran turnos de 12 horas.

Ahora bien, el proceso general de atención de pacientes en la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas es el siguiente:

- i. El paciente una vez ingresa a la unidad es registrado a través de una de las taquillas de registro.
- ii. Se establece el estado de salud del paciente a través de la clasificación dada en el triage.
- iii. Los pacientes en estado crítico son remitidos a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI); los demás pacientes son ubicados en la sala de espera.
- iv. El paciente ingresa a un cubículo para su atención médica que puede ser de atención general o infantil.
- v. Mientras el paciente es atendido, el médico puede atender a otros pacientes en los demás cubículos, iniciando, para cada nuevo paciente, un estado de atención.
- vi. El médico, luego de un tiempo, vuelve al cubículo del paciente y ejecuta de nuevo una revisión. El paciente continúa en atención médica hasta que el médico considere que está estable.
- vii. Los pasos v y vi se ejecutarán hasta que el paciente sea dado de alta, la cual equivale a la salida del sistema.

La Clínica dispone de espacios físicos suficientes para la atención; no obstante, a menudo se queda corta en los recursos humanos, dando lugar a tiempos largos de espera de atención de pacientes que se traducen en inconformidad por el servicio. Por lo tanto, se hace necesario evaluar alternativas de solución.

Sobre el sistema se proponen y evalúan dos alternativas con el fin de valorar mejoras en el desempeño provenientes de diferentes configuraciones de los recursos.

3.1.2 Recolección y análisis de los datos

Los datos fueron recopilados durante un período continuo de 90 días, las 24 horas y son de dos tipos, tiempos de espera y atención, y número de pacientes.

Los datos recopilados fueron analizados con el fin de identificar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento. La Tabla 1 da cuenta de las diferentes distribuciones.

Tabla 1
Funciones de distribución ajustadas. Caso I

Llegada de pacientes*		Atención médica general e infantil*
Lu	EXP (7)	TRIA (25, 32, 45)
Ma, Mi, J	EXP (15)	TRIA (21, 30, 39)
Vi	EXP (9.5)	TRIA (23, 32, 42)
Sa, D	EXP (22)	TRIA (32, 46, 50)
Actividades de proceso*		
Registro	TRIA (3, 4, 6)	
Triage	POIS (6)	

EXP, TRIA y POIS son abreviaturas para distribuciones Exponencial Triangular y Poisson respectivamente

***Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos*

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Desarrollo e interpretación del modelo

Para la construcción del modelo computacional se establecieron los siguientes límites del sistema de acuerdo a los datos disponibles:

- i. Se consideraron como días de atención ordinaria martes, miércoles y jueves.
- ii. Se considera que los tiempos de retrasos dependen únicamente de demoras en la atención y disponibilidad de cubículos, obviando otras situaciones como carencia de información, fallas en el sistema, mantenimiento, etc.
- iii. Los tiempos de desplazamiento de los pacientes entre cada proceso no fueron considerados.
- iv. No fueron considerados en la simulación la atención en las Zonas 2 y 4, toda vez que se refieren a situaciones específicas de las cuales se carece de mediciones; además, el porcentaje de pacientes atendidos en estas zonas fue menos del 5 % del total.
- v. Los datos recopilados equivalen a 45 días durante temporada de verano y 15 días de invierno.

El modelo computacional se construyó con base en el diagrama de procesos expuesto en la Figura 2 y las distribuciones calculadas en la Tabla 1. Para realizar un modelado correcto del consumo de tiempo de cada proceso se consideraron las distribuciones ajustadas en la etapa de recolección de datos. A través del *software* de simulación *Simul8* se adoptó un acercamiento modular para la implementación del modelo agrupando los cubículos de atención médica general e infantil, que equivalen en conjunto a 20 cubículos (10 general y 10 infantil) en los elementos C1 a C5 respectivamente, y una asignación de reproceso llamada Auxiliar que equivale a la nueva revisión que hace el médico previo a la salida del paciente del sistema. El esquema del modelo implementado en el *software* es presentado en la Figura 4.

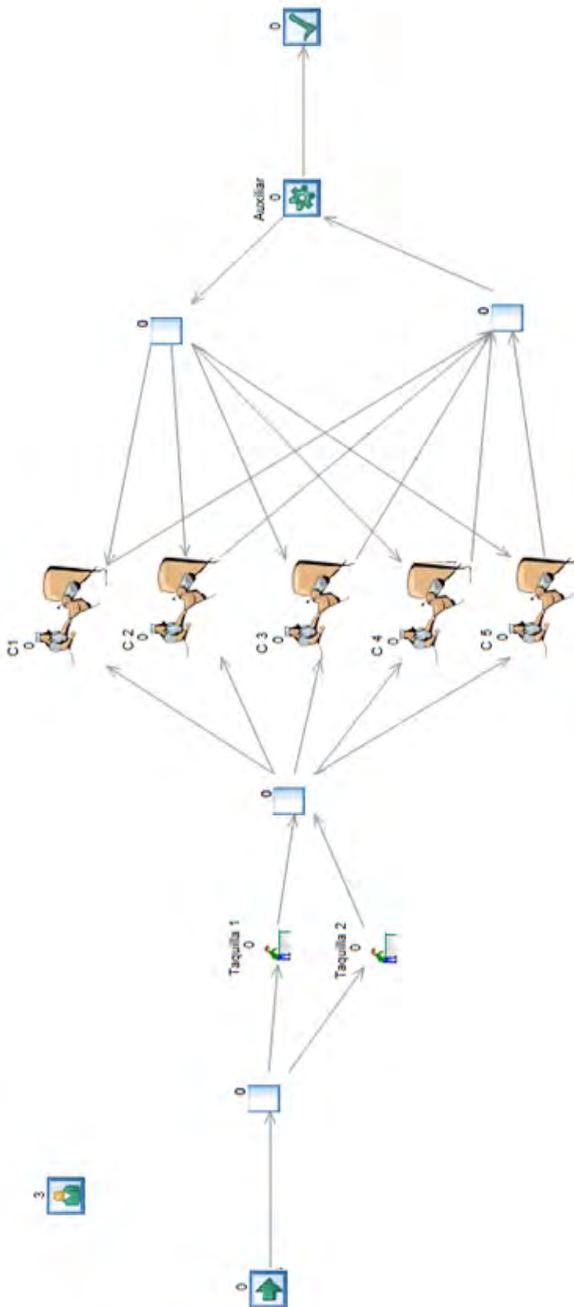


Figura 4
Modelo en Simul8 de la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas
Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Verificación, validación, evaluación de alternativas y análisis de resultados

Teniendo en cuenta los límites del sistema previamente establecidos y el modelo implementado, se realizaron 10 réplicas del desempeño del sistema. Cada réplica corresponde a un día de 24 horas comenzando desde las 00:00 y culminando en las 24:00.

La Tabla 2 presenta la configuración de los diferentes tiempos recopilados en el sistema.

Tabla 2
Configuración de tiempos de espera y atención. Caso I

TIEMPOS DE ESPERA	TIEMPOS DE ATENCIÓN
T1 Tiempo entre llegada y registro	
T2 Tiempo entre registro y triage	T4 Tiempo requerido para la atención médica
T3 Tiempo desde el registro hasta atención médica	

Fuente: Elaboración propia

Otros tiempos pueden ser deducidos a partir de los valores de la tabla anterior: Tiempo de registro ($T2-T1$), tiempo de triage ($T3-T2$). La duración de $T3$ depende de la clasificación dada en el triage.

La salida de la simulación fue comparada con los datos recolectados para validar el desempeño adecuado del modelo usando un intervalo de confianza del 95 %, La Tabla 3 da cuenta de la comparación de tiempos de salida de la simulación y datos reales recolectados, siendo $T1$, $T2$, $T3$ y $T4$ los respectivos tiempos configurados en la Tabla 2.

Tabla 3
Datos de salida simulados vs datos reales. Caso I

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	0,8	0,4	1,5
T2	4,2	1,3	10,0
T3	115,5	32,6	121,0
T4	46,7	4,8	30,0

*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

Las divergencias entre los valores reales y los simulados en todos los casos fueron consideradas no significativas, siendo el modelo útil para la toma de decisiones; no obstante, se centra especial atención en los valores obtenidos para T3 y T4, considerándolos como los focos para mejoras en el desempeño del sistema, toda vez que estos constituyen la proporción más grande de tiempo de espera en el sistema.

Como se mencionó anteriormente, las alternativas se basan en considerar los recursos físicos y humanos como variables de control del sistema. En el sistema real se tienen dos auxiliares de registro, seis médicos diurnos y tres nocturnos, para atender 20 cubículos. Basado en lo anterior en la Tabla 4 se consideran dos escenarios alternativos.

Tabla 4
Recursos asignados en escenarios de simulación alternativos. Caso I

	Alternativa 1	Alternativa 2
Número de médicos	6,3	7,4
Taquillas de registro	1	2
Número de cubículos activos	22	20

Fuente: Elaboración propia

Cada alternativa fue simulada en 10 réplicas cada una equivalente a un día de 24 horas. Como parámetros de control adicional se calcularon, el tiempo total en el sistema—TS, el cual es equivalente a la suma de todos los tiempos (T1 a T4), el porcentaje de cubículos inactivos y el promedio de pacientes en la cola de cubículos (ver Tabla 5).

Tabla 5
Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso I

	Alternativa 1	Alternativa 2	Datos Reales
T3	106,3	86,5	121,0
TS	141,6	118,4	162,5
Porcentaje de cubículos inactivos	15,64 %	19,5 %	18,3 %
Promedio de pacientes en la cola de cubículos	14	4	17

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 5, la alternativa 2 presenta una mejora sustancial en el tiempo de espera para la atención médica, lo cual repercute, igualmente, en el tiempo total del sistema y en el promedio del número de pacientes en la cola de cubículos, sin embargo, es más costoso al requerir un recurso humano médico adicional en cada turno. La alternativa 1 es interesante desde el punto de vista económico, toda vez que requiere un recurso humano menos en la atención de registro y una redistribución de los espacios para el incremento de dos cubículos, lo que se traduce en una disminución en el porcentaje de cubículos inactivos y mejoras leves en los tiempos de espera de atención, tiempo total del sistema y promedio de pacientes en la cola de cubículos. La alternativa 2 muestra que los tiempos de atención pueden ser significativamente reducidos al incrementar el personal de atención, no obstante, esto repercute en un incremento leve en el porcentaje de cubículos inactivos. La

sustancial mejora en los tiempos y calidad del servicio expuesta por la alternativa 2, justifica el incremento económico. La adición de cubículos establecida en la alternativa 1 no presenta mejoras significantes en el número medio de pacientes en la cola de cubículos, por lo tanto, la alternativa 2 resulta ser la más completa.

3.2 Caso II: Servicio de urgencias de la clínica del Caribe - Barranquilla

3.2.1 Caracterización del sistema

La clínica del Caribe de Barranquilla es una institución prestadora de servicios de salud de carácter privado de tercer nivel que atiende pacientes de mediana y alta complejidad. El servicio de Urgencias de la clínica atiende 24 horas al día, y su prioridad de atención depende de la clasificación dada en el triage. Son considerados grupos prioritarios de alto riesgo los menores de siete años, las mujeres en estado de gestación y los mayores de 60 años, los cuales tienen atención médica prioritaria.

El servicio de urgencias dispone de siete consultorios para la atención médica de los pacientes, dos salas de reanimación, para los que se dispone siete médicos en el turno de día y dos en la noche (12 horas cada turno), una taquilla de registro con 1 auxiliar que labora en turno de ocho horas y una taquilla de facturación.

El proceso general de atención de pacientes en el servicio de urgencias de la clínica del Caribe coincide con los procesos descritos en el diagrama presentado en la Figura 2; sin embargo, el orden en el que se presentan es diferente. La descripción del proceso es la siguiente:

- I. El paciente una vez ingresa a la unidad es clasificado su estado de gravedad según su triage por una enfermera calificada para la labor; este varía de uno a cuatro según su gravedad. En caso de extrema gravedad con compromiso de la vida del paciente, la atención es inmediata (esto es, triage uno). Las clasificaciones dos y tres deben esperar a ser atendidos y en la clasificación cuatro el paciente es remitido a su Institución Prestadora de Salud (IPS) de primer nivel (sale del sistema).
- II. Los pacientes con triage uno son pasados a los cubículos de reanimación, donde son estabilizados y posteriormente remitidos a hospitalización en otra entidad (salida del sistema).
- III. Los pacientes con triage superior a uno son registrados a través de la taquilla de registro.
- IV. Los pacientes registrados pasan a la sala de espera para la atención médica.
- V. El paciente ingresa a un cubículo para su atención médica que puede ser de atención general o especializada (pacientes que pertenecen a un grupo prioritario).
- VI. El paciente es dado de alta y según su tipo de afiliación pasa a la zona de facturación o sale del sistema.
- VII. Los pacientes en facturación pagan una cuota moderadora y salen del sistema.

Ahora bien, según los datos recopilados, el 10 % de los pacientes atendidos en el servicio de Urgencias de la clínica del Caribe son clasificados en triage uno; 65 % en triage dos y 25 % en triage tres. Los pacientes con triage cuatro no son tenidos en cuenta toda vez que salen del sistema inmediatamente se clasifica su triage. Los pacientes con triage uno requieren atención

inmediata y los de triage dos atención prioritaria, la cual debe hacerse en menos de 20 minutos; dicha expectativa no siempre se cumple dando lugar a fallas en la calidad del sistema y retrasos adicionales en la atención de usuarios con otros triages. Según lo anterior, se hace necesaria la evaluación de alternativas que permitan mejorar el desempeño del sistema. Un escenario alternativo es evaluado con el fin de establecer posibles mejoras en el desempeño del sistema provenientes de diferentes valores de las variables de control.

3.2.2 Recolección y análisis de los datos

Los datos de tiempos de espera y atención, y número de pacientes fueron recopilados en días de semana (de lunes a viernes) por un período de 60 días, las 24 horas. Los datos recopilados fueron analizados con el fin de identificar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento, estas son presentadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Funciones de distribución ajustadas. Caso II*

Actividades de proceso*	
Llegada de pacientes	EXP (14)
Triage	POIS (6)
Reanimación	TRIA (18, 26, 39)
Registro	TRIA (2, 4, 9)
Atención médica	TRIA (51, 64, 78)
Facturación	POIS (4)

**Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos*
Fuente: Elaboración propia

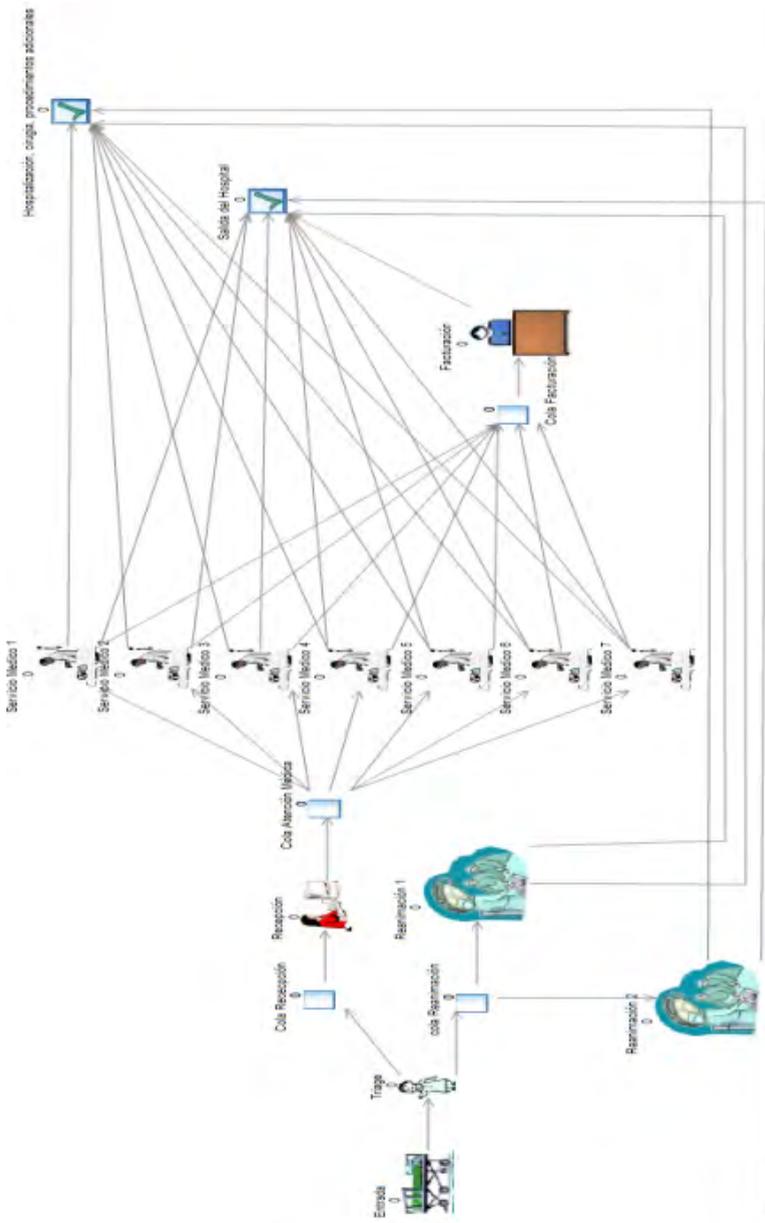


Figura 5
Modelo en Simul8 del servicio de Urgencias de la Clínica del Caribe
Fuente: Elaboración propia

Basados en el proceso descrito y haciendo uso de las funciones de distribución ajustadas en la recolección de datos se construyó con el software *Simul8* el modelo computacional presentado en la Figura 5.

3.2.3 Verificación, validación, evaluación de alternativas y análisis de resultados

Para el modelo implementado se realizaron 10 réplicas de la simulación, donde cada réplica corresponde a un día de 24 horas comenzando desde las 00:00 y culminando en las 24:00. Se validó el desempeño adecuado del modelo mediante la comparación de los datos de salida y los datos reales recopilados con un intervalo de confianza del 95 %. La configuración de tiempos usada para este caso se presenta en la Tabla 7, y los valores de validación en la Tabla 8.

Tabla 7
Configuración de tiempos de espera y atención. Caso II

Tiempos de espera	Tiempos de atención
T1 Tiempo entre llegada y triage	T6 Tiempo requerido para la atención médica
T2 Tiempo entre el triage y la reanimación	T7 Tiempo requerido para la reanimación
T3 Tiempo entre el triage y el registro	T8 Tiempo requerido para la facturación
T4 Tiempo desde el registro hasta atención médica	
T5 Tiempo desde la atención médica hasta la facturación	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8
Datos de salida simulados vs datos reales. Caso II

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	1,7	1,1	2,8
T2	2,1	0,5	3,5
T3	7,1	1,4	8,0
T4	66,7	24,8	72,0
T5	4,9	1,7	6,4
T6	32,1	5,6	25,0
T7	12,0	4,5	14,2
T8	2,4	0,8	3,0

*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

Los valores de salida obtenidos y los reales no presentan diferencias estadísticamente significativas, por lo tanto, se considera el modelo representativo del sistema real y útil para la toma de decisiones.

De acuerdo con los tiempos simulados y el flujo de pacientes en el sistema, se considera de especial interés el análisis de los tiempos T4, toda vez que este constituye la proporción más grande de tiempo en el sistema. El tiempo de espera para la atención médica T4 depende directamente de la clasificación dada en el triage.

Teniendo en cuenta la problemática de atención según triage antes expuesta, se ha considerado como escenario alternativo hacer una distribución de los recursos de médicos de acuerdo al porcentaje de pacientes de cada triage, de tal forma que el triage con mayor demanda tenga una mayor asignación de médicos. Así las cosas, la alternativa es asignar de los siete médicos del turno del día, cuatro para atender los pacientes con triage dos, dos para atender el triage tres y uno para el triage uno; y de los dos médicos del turno de la noche uno para el triage dos y uno para los triages uno y tres.

La alternativa fue simulada en cinco réplicas, cada una equivalente a un día de 24 horas y se calcularon, como parámetros de control adicional, el tiempo total en el sistema-TS, el porcentaje de ocupación de los médicos (según su asignación por triage) y el promedio de pacientes en espera para atención médica. Los resultados de la alternativa simulada son presentados en la Tabla 9.

Tabla 9
Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso II

	Alternativa	Datos reales
T4	63,1	72,0
TS	102,5	107,8
Porcentaje de ocupación Med-Triage1	97,6 %	88,4 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage2	78,2 %	88,4 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage3	67,4 %	88,4 %
Promedio de pacientes en espera para atención	10	11

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 9, la alternativa propuesta presenta una leve mejora en los tiempos, tanto de espera para la atención médica, como el tiempo total de permanencia del paciente en el sistema y en el promedio del número de pacientes en la espera para atención médica; así mismo, se observa una distribución de los tiempos de ocupación de los médicos, siendo notable la sobrecarga dada al médico para triage uno y el ocio dado al médico para triage tres. Si bien, esta alternativa mejora el desempeño general del sistema, dicha mejora no es representativa, y va en detrimento del bienestar del personal humano disponible, en este caso los médicos, toda vez que, mientras unos son sobrecargados, otros tienen tiempo de ocio, razón por la cual no se considera deba ser asumida.

3.3 Caso III: unidad de urgencias CSE del Hospital de Suba - Bogotá

El Hospital de Suba (ESE Suba) es una Empresa Social del Estado de segundo nivel, prestadora de servicios de salud de baja, mediana y alta complejidad ubicada en la localidad de Suba. Por ser una empresa del Estado atiende pacientes del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales (SISBEN). El servicio de Urgencias es atendido 24 horas al día en cuatro centros, el más completo, y al que hace referencia este caso es el Centro de Servicios Especializados (CSE).

El CSE dispone de cinco consultorios para el diagnóstico médico de los pacientes, dos de los cuales son para atención de adultos, dos de atención pediátrica y sala de procedimientos, dos taquillas de registro y cubículo de triage.

El proceso general de atención de pacientes en el CSE de urgencias del Hospital de Suba coincide con los procesos descritos en el diagrama presentado en la Figura 2, donde la atención médica es diferenciada en adultos, pediátrico y especializado; este último cuando requiere la realización de algún procedimiento.

Debido a los largos tiempos de espera y la saturación del sistema se hace necesario proponer alternativas de mejora en el desempeño. El tiempo de espera está asociado a tres factores críticos: clasificación dada en el triage (de uno a cinco), la disponibilidad de médicos/consultorios para la atención y si es población adulta, infantil o requiere algún procedimiento especializado. Todos estos factores son preocupantes y se enlazan, toda vez que el 60 % de los pacientes que ingresan al CSE son clasificados en triage uno y dos, los cuales, según políticas de servicio de la institución deben ser atendidos de forma inmediata en el triage uno y en menos de 30 minutos en el triage dos, no obstante, dicha promesa de servicio no se cumple al no tener suficientes médicos/consultorios para atender a los pacientes que ingresan en tales condiciones. Además, la congestión de pacientes que requieren atención inmediata y prioritaria (triage uno y dos) y no puede ser solventada, y lleva a una saturación del sistema, al retrasar la atención de los demás pacientes con triage diferente. Así mismo, en CSE solo se dispone de dos consultorios para adultos, dos para población infantil y uno para procedimientos especializados, donde el porcentaje de llegada de pacientes es del 35 %, 55 % y 15 %, respectivamente.

Esto evidencia la necesidad de proponer soluciones a las problemáticas, lo cual se hace a través de la evaluación de dos escenarios alternativos, uno orientado a incrementar el número de médicos y consultorios disponibles y otro con una atención especializada en casos de mayor probabilidad.

La recolección de datos fue tomada durante cuatro semanas (de lunes a viernes) en horarios de 6:00 de la mañana a 7:00 de la noche; el ajuste de la distribución estadística de los datos es presentado en la Tabla 10.

Tabla 10
Funciones de distribución ajustadas. Caso III

Actividades de proceso*	
Llegada de pacientes	EXP (11)
Registro	TRIA (4, 6, 9)
Triage	TRIA (3, 8, 13)
Atención médica	TRIA (21, 25, 38)

*Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos

Fuente: Elaboración propia

Con base en el proceso general y haciendo uso de las respectivas funciones de distribución ajustadas a los datos reales, se construyó en *Simul8* un modelo computacional del sistema y se realizaron 10 réplicas de la simulación para su verificación y validación.

Tabla 11
Datos de salida simulados vs datos reales. Caso III

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	1,7	0,6	1,9
T2	4,5	0,5	5,4
T3	177,8	27,6	184,0
T4	26,1	7,8	35,0

*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

La validación de las salidas del sistema se realizó con la configuración de tiempos presentada en la Tabla 2; los valores de salida simulados y reales son presentados en la Tabla 11.

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 11 muestra que los valores reales no difieren en mayor medida de los obtenidos con la simulación, por lo tanto, el modelo puede ser considerado representativo del comportamiento del sistema real. Bajo dicha premisa, y con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema, se observa, al igual que en casos anteriores, que el problema más evidente se presenta en el tiempo de espera para la atención médica, toda vez que es allí donde se consume la mayor parte del tiempo de permanencia del paciente en el sistema. Tal conclusión es coherente con la problemática expuesta.

Como escenarios alternativos se consideran los siguientes:

Primera alternativa: incrementar el número de médicos y consultorios de cinco a seis. La distribución física del CSE de urgencias del Hospital de Suba está dada para que cada médico atienda en un consultorio, por tanto, se requiere un incremento igual en cada recurso.

Segunda alternativa: distribución de los recursos de médicos y consultorios según porcentaje de pacientes de cada triage y alternancia entre consultorios. Esta alternativa se refiere a asignar, de los cinco médicos disponibles, tres que atiendan solo pacientes con triage uno y dos, y los otros dos los restantes triages. Al mismo tiempo, que no haya distinción entre los consultorios; es decir, que haya una alternancia entre los consultorios de adultos e infantil dada por la clasificación del triage, más que por la disponibilidad de consultorio, permitiendo de esa forma que pacientes

adultos pueden ser atendidos en consultorio infantil y viceversa (cuatro consultorios de carácter general).

Cada alternativa fue simulada en cinco réplicas cada una equivalente a un día de 6:00 de la mañana a 7:00 de la noche y se calcularon, como parámetros de control adicional, el porcentaje de ocupación de los médicos (según su asignación por triage), el porcentaje de consultorios inactivos y el promedio de pacientes en espera para atención médica. Los resultados de cada alternativa simulada son presentados en la Tabla 12.

Tabla 12
Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso III

	Alternativa 1	Alternativa 2	Datos Reales
T3	159.3	173.2	184.0
Porcentaje de ocupación Med-Triage 1 y 2	84,2 %	94,5 %	91,5 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage 3, 4 y 5	84,2 %	89,2 %	91,5 %
Porcentaje de cubículos inactivos	7,4 %	2,7 %	10,3 %
Promedio de pacientes en cola de atención	9	18	26

Fuente: Elaboración propia

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 12 manifiesta los siguientes hechos:

La alternativa 1 presenta mejoras representativas en el tiempo de espera para la atención médica, la cual a su vez produce mejoras sustanciales en el promedio del número de pacientes en la cola de atención; sin embargo, esta alternativa es económicamente más costosa, toda vez que requiere una inversión en persona e infraestructura física.

La alternativa 2 es interesante al tener una mejor utilización de los recursos físicos disponibles, traducido en una reducción de la inactividad de los consultorios y a su vez una leve mejora en los

tiempos de espera para la atención médica y en el promedio del número de pacientes en la espera para atención médica.

La alternativa 2 presenta una distribución equitativa de los tiempos de ocupación de los médicos, dando poco tiempo de ocio, lo cual va en detrimento del bienestar del personal humano disponible, en este caso los médicos.

La alternativa 1 presenta una mejoría en la utilización de los recursos físicos al reducir el porcentaje de consultorios inactivos.

La mejora sustancial en el tiempo de espera y la calidad del servicio (menos pacientes en cola) presentada por la alternativa 1 justifica la inversión económica requerida para su implementación; por lo tanto, resulta ser la alternativa recomendada.

4. CONCLUSIONES

Gran parte de los problemas presentes en el sector salud a nivel estratégico como operacional, son problemas análogos a varios que surgen en la industria y que son analizados bajo un enfoque de optimización de recursos, gestión de la demanda, pronósticos, planeación agregada y programación de operaciones. Por esta razón la gestión de sistemas de salud está adoptando esquemas de la ingeniería industrial dentro de sus modelos de planeación, ajustándolos al contexto propio de tales servicios.

La prioridad de la investigación en sistemas de atención de urgencias en salud es por lo tanto enfocada en resolver problemas relacionados con el ineficiente flujo de pacientes debido a la falta de capacidad en la atención y la inadecuada distribución

de recursos de personal y físicos, lo cual conduce a elevados tiempos de espera en la atención y a la saturación del sistema.

La simulación de eventos discretos se ha aplicado para estudiar problemas como: elevados tiempos de espera para la atención de pacientes; optimización en los tiempos de atención médica; mejora en el rendimiento de los procesos asistenciales; evaluación de la capacidad de los servicios de Urgencias en comparación con la demanda; disminución en la saturación de los servicios, y evaluación en la relación que hay entre los servicios de Urgencias y las unidades de hospitalización, teniendo en cuenta como factores la capacidad de recursos físicos y humanos, y la demanda de pacientes.

Ahora bien, a menudo la eficiencia en el flujo de pacientes urgentes depende de procesos externos como planificación de la gestión hospitalaria general, y si este flujo no es eficiente, se alargan las estancias hospitalarias y ello induce la saturación del servicio. Así mismo, el servicio de urgencias necesita de otros servicios auxiliares del hospital como ayudas diagnósticas, laboratorio clínico, farmacia, lo cual, a su vez, afecta directamente el proceso de atención de los pacientes. Por tal razón, se hace necesario evaluar el problema como un sistema, donde hay que tener en cuenta las entradas (demanda), la capacidad y las salidas (otros pisos hospitalarios o red asistencial) del sistema.

En este trabajo se modelaron, analizaron y evaluaron alternativas de solución a tres casos reales de sistemas de urgencias de salud mediante el uso de la simulación discreta. El objetivo de cada caso fue dependiente de la problemática encontrada y las características particulares del sistema, siendo en unos casos la reducción en tiempos de atención, y en otros la mejora en el rendimiento

del sistema o en procesos puntuales como disponibilidad de recursos físicos. En todas las alternativas propuestas se presentaron mejoras desde diferentes aspectos, las cuales fueron, así mismo, analizadas. Los diferentes casos permitieron evidenciar que la aplicación de simulación discreta logró aumentar la tasa de utilización de los servicios de urgencias, disminuir el número de horas médico al día, y al mismo tiempo, reducir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos, así como una mejor distribución de los recursos.

Si bien el enfoque de este trabajo es de tipo reactivo, no se desconoce la necesidad de estudios que evalúen el impacto de las políticas de salud en la demanda de los servicios de urgencias, donde se pueda hacer análisis de diferentes escenarios y plantear incluso trabajos enfocados a evaluar la demanda de los servicios de urgencias.

Como estudios futuros se plantea la necesidad de uno que evalúe el problema con un enfoque sistémico, donde se empiece por entender las entradas del sistema. Tener en cuenta variables como la demanda creciente y el ingreso de pacientes no urgentes, los tiempos de atención, el diagnóstico y los tratamientos propios del servicio, la capacidad del personal asistencial, la capacidad y disponibilidad de camas y recursos del propio servicio de urgencias, los tiempos de los servicios auxiliares y soportes al sistema como ayudas diagnósticas y laboratorios clínicos, y los tiempos de observación del paciente, ya que aunque algunas de estas variables se han tenido en cuenta y se han evaluado, ello se ha hecho de manera independiente, a pesar de la evidencia de su interrelación y mutua asistencia.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M. A. & Alkhamis, T. M. (2009). Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 936-942. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.025>
- Al-Balushi, S., Sohal, A. S., Singh, P. J., Al Hajri, A., Al Farsi, Y. M. & Al Abri, R. (2014). Readiness factors for lean implementation in healthcare settings - a literature review. *Journal of Health Organization and Management*, 28(2), 135-53. <https://doi.org/10.1108/JHOM-04-2013-0083>
- Andersen, A. R., Nielsen, B. F. & Reinhardt, L. B. (2017). Optimization of hospital ward resources with patient relocation using Markov chain modeling. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 1152-1163. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.026>
- Arbós, L. (2012). *Logística: gestión de la cadena de suministros*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Balcázar, D., López, C. & Adarme, W. (2016). Strategic guidelines for supply chain coordination in healthcare and a mathematical model as a proposed mechanism for the measurement of coordination effects. *Dyna*, 83, 204-212.
- Barnes, C. & Laughery, R. (1998). Advanced uses for microsaint simulation software. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, december 13-16, IEEE: Piscataway, NJ, 271-274.
- Benneyan, J. (1997). An introduction to using computer simulation in healthcare: Patient wait case study. *Journal of the Society for Health Systems*, 5(3), 1-15.
- Burns, L. R. (2002). *The Health Care Value Chain: Producers, Purchasers, and Providers*. San Francisco, USA: Jossey-Bass.
- Caballos, F., Betancur Villegas, J. & Betancur Villegas, J. (2014). Simulación discreta aplicada a los Modelos de Atención en Salud.

- Investigación e Innovación en Ingenierías*, 2(2). DOI: 10.17081/invinno.2.2.2045
- Cannon, J. P., Doney, P. M., Mullen, M. R. & Petersen, K. J. (2010). Building long –term orientation in buyer– supplier relationships: The moderating role of culture. *Journal of Operations Management*, 28(6), 506-521. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.02.002>
- Chávez, J. & Torres, R. (2012). *Supply Chain Management*. Santiago de Chile, Chile: RIL Editores.
- Churilov, L., Fridriksdottir, A., Keshtkaran, M., Mosley, I., Flitman, A. & Dewey, H. M. (2013). Decision support in pre-hospital stroke care operations: A case of using simulation to improve eligibility of acute stroke patients for thrombolysis treatment. *Computers and Operations Research*, 40(9), 2208-2218. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.06.012>
- Cordero-García, E., Jiménez, F., León-Rodríguez, V. & Salazar-Valerio, K. (2012). Comunicación breve análisis de tiempos y movimientos en el proceso de contratación administrativa de medicamentos, en el Hospital México durante el año 2009. *Acta Médica Costarricense*, 54(1), 50-54.
- Cotta, R. M. M., Suárez-Varela, M. M., Llopis González, A., Cotta Filho, J. S., Real, E. R. & Ricós, J. A. D. (2001). La hospitalización domiciliaria: antecedentes, situación actual y perspectivas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10(1), 45-55. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892001000700007>
- Darragh, A. R., Lavender, S., Polivka, B., Sommerich, C. M., Wills, C. E., Hittle, B. A., ... & Stredney, D. L. (2016). Gaming Simulation as Health and Safety Training for Home Health Care Workers. *Clinical Simulation in Nursing*, 12(8), 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.cns.2016.03.006>
- Day, M., Magnan, G. M. & Moeller, M. M. (2010). Evaluating the bases of supplier segmentation: A review and taxonomy. *Industrial Marketing Management*, 39(4), 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2009.06.001>

- De Vries, J. (2011). The shaping of inventory systems in health services: A stakeholder analysis. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.029>
- De Vries, J. & Huijsman, R. (2011). Supply chain management in health services: an overview. *Supply Chain Management-an International Journal*, 16(3), 159-165. <https://doi.org/10.1108/13598541111127146>
- Fernando, A., Attoe, C., Jaye, P., Cross, S., Pathan, J. & Wessely, S. (2017). Improving Interprofessional Approaches to Physical and Psychiatric Comorbidities Through Simulation. *Clinical Simulation in Nursing*, 13(4), 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.12.004>
- García, R. G. C., Valdívieso, S. T., Margarita, B., Vallejo, R., Fernando, H. & Silva, C. (2009). Creación de valor en la cadena de abastecimiento del sector salud en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 22(39), 235-256.
- Giannakis, M. & Croom, S. R. (2004). Toward the Development of a Supply Chain Management Paradigm: A Conceptual Framework. *The Journal of Supply Chain Management*, 40(2), 27-37. <https://doi.org/http://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2004.tb00167.x>
- Guise, V. & Wiig, S. (2016). Preparing for Organizational Change in Home Health Care With Simulation-Based Training. *Clinical Simulation in Nursing*, 12(11), 496-503. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.07.011>
- Gutiérrez Rodríguez, C. A., Almeida, R. A. & Romero Palacios, W. E. (2017). Diseño de un modelo de migración a cloud computing para entidades públicas de salud. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 6(1), 10-26.
- Herazo, B. (2010). Algunos problemas de la salud en Colombia. *Universitas Odontologica*, 29(63), 37-39.
- Jagtenberg, C. J., Van den Berg, P. L. & Van der Mei, R. D. (2016). Benchmarking online dispatch algorithms for Emergency Medical Services. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 715-725. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.061>
- Komashie, A. & Mousavi, A. (2005). Modeling emergency departments

- using discrete event simulation techniques. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, IEEE: Piscataway, NJ*, 2681-2685.
- Lee, S. M., Lee, D. & Schniederjans, M. J. (2011). Supply chain innovation and organizational performance in the healthcare industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(11), 1193-1214. <https://doi.org/10.1108/01443571111178493>
- Little, J. & Coughlan, B. (2008). Optimal inventory policy within hospital space constraints. *Health Care Management Science*, 11(2), 177-183. <https://doi.org/10.1007/s10729-008-9066-7>
- Lumms, R. R. & Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management : a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.
- McCormack, R. & Coates, G. (2015). A simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 294-309. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.040>
- McKone-Sweet, K. E., Hamilton, P. & Willis, S. B. (2005). The Ailing Healthcare Supply Chain: A Prescription for Change. *Journal of Supply Chain Management*, 41(1), 4-17. <https://doi.org/http://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2005.tb00180.x>
- Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. <https://doi.org/http://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Mettler, T. & Rohner, P. (2009). E-Procurement in Hospital Pharmacies: An Exploratory Multi-Case Study from Switzerland. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 4(1), 23-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-18762009000100004>
- Monks, T., Pearson, M., Pitt, M., Stein, K. & James, M. A. (2015). Evaluating the impact of a simulation study in emergency stroke care. *Operations Research for Health Care*, 6, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.09.002>

- Moreno-Chaustre, J., Andrade, H., García, J., Hernández, U., Maestre, G. & López, G. (2014). Modelo de evaluación para valorar el cambio en las prácticas docentes con TIC. *Revista UIS Ingenierías*, 13(1), 7-22.
- Neyshabouri, S. & Berg, B. (2016). Two-Stage Robust Optimization Approach to Elective Surgery and Downstream Capacity Planning. *European Journal of Operational Research*, 260(1), 21-40. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.043>
- Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Selcuk Erenguc, S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 271-290. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00700-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00700-2)
- Niyirora, J. & Zhuang, J. (2017). Fluid approximations and control of queues in emergency departments. *European Journal of Operational Research*, 261(3), 1110-1124. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.013>
- Pan, Z. X. & Pokharel, S. (2007). Logistics in hospitals: a case study of some Singapore hospitals. *Leadership in Health Services*, 20(3), 195-207. <https://doi.org/10.1108/17511870710764041>
- Pedroso, M. C. & Nakano, D. (2009). Knowledge and information flows in supply chains: A study on pharmaceutical companies. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.012>
- Pitta, D. A. & Laric, M. V. (2004). Value chains in health care. *Journal of Consumer Marketing*, 21(7), 451-464. <https://doi.org/10.1108/07363760410568671>
- Quintens, L., Pauwels, P. & Matthyssens, P. (2006). Global purchasing strategy: Conceptualization and measurement. *Industrial Marketing Management*, 35(7), 881-891. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.05.009>
- Ramasesh, R. V. (1990). Procurement under uncertain supply lead times -A dual- sourcing technique could save costs, *Engineering costs and production economics*, 21(1), 59-68.

- Robinson, S., Radnor, Z. J., Burgess, N. & Worthington, C. (2012). SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.029>
- Roseira, C., Brito, C. & Henneberg, S. C. (2010). Managing interdependencies in supplier networks. *Industrial Marketing Management*, 39(6), 925-935. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2010.06.012>
- Ruohonen, T., Neittaanmäki, P. & Teittinen, J. (2006). Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, IEEE: Piscataway, NJ*, 453-458.
- Samaha, S., Armel, W. & Starks, D. (2003). The use of simulation to reduce the length of stay in an emergency department. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, IEEE: Piscataway, NJ*, 1907-1911.
- Samuel, C., Gonapa, K., Chaudhary, P. K. & Mishra, A. (2010). Supply chain dynamics in healthcare services. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 23(7), 631-642. <https://doi.org/10.1108/09526861011071562>
- Sánchez-Sánchez, P., Ceballos, F., & Sánchez, G. (2015). Análisis del proceso productivo de una empresa de confecciones: Modelación y Simulación. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 137-150. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1436>
- Saunders, C., Makens, P. & Leblanc, L. (1989). Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems. *Annals of Emergency Medicine*, 18(2), 134-140.
- Süer, G., Subramanian, A., & Huang, J. (2009). Heuristic procedures and mathematical models for cell loading and scheduling in a shoe manufacturing company. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 462-475.
- Uzun Jacobson, E., Bayer, S., Barlow, J., Dennis, M. & MacLeod, M. J. (2015). The scope for improvement in hyper-acute stroke care in

Scotland. *Operations Research for Health Care*, 6, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.09.003>

Vargas-Lorenzo, I., Vázquez-Navarrete, M. L. & Mogollón-Pérez, A. S. (2010). Acceso a la atención en salud en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 12(5) 701-712.

Virolainen, V. M. (1998). A survey of procurement strategy development in industrial companies. *International Journal of Production Economics*, 56, 677-688.

Yeniyurt, S., Henke, J. W. & Cavusgil, E. (2012). Integrating global and local procurement for superior supplier working relations. *International Business Review*, 22(2), 351-362. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2012.06.004>

Cómo citar este capítulo:

Sánchez-Sánchez, P., García-González, J. R., Fajardo Toro, C. H., Pulido-Rojano, A. & Melamed-Varela, E. (2018). Simulación de sistemas de emergencia en salud. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.165-210). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Gestión del cambio organizacional como elemento dinamizador en universidades del Atlántico, Colombia

RONALD PRIETO-PULIDO¹
ORLANDO HERNÁNDEZ-ARIZA²
ALEXIS PALACIOS-ARRIETA³
ANNHERYS PAZ-MARCANO⁴
CARLOS REGALAO-NORIEGA⁵
REMBERTO DE LA HOZ-REYES⁶

-
- 1 Universidad Simón Bolívar, Colombia.
rprieto1@unisimonbolivar.edu.co
 - 2 Universidad Simón Bolívar, Colombia.
ohernandez17@unisimonbolivar.edu.co
 - 3 Universidad Simón Bolívar, Colombia.
apalacios@unisimonbolivar.edu.co
 - 4 Universidad de La Guajira.
annheryspaz@hotmail.com
 - 5 Universidad Simón Bolívar, Colombia.
cregalao@unisimonbolivar.edu.co
 - 6 Universidad Simón Bolívar, Colombia.
rjdelahoz@unisimonbolivar.edu.co

RESUMEN

Los cambios son un conjunto de alteraciones tanto estructurales como de comportamiento, las cuales se compenetran íntimamente, de acuerdo con una adecuada estrategia, para obtener los mejores resultados. El objetivo central del artículo fue analizar la gestión del cambio organizacional como elemento dinamizador en universidades del Atlántico-Colombia, en el marco de los tipos de cambio (planeado y no planeado). La investigación se fundamenta metodológicamente en un enfoque positivista, con un diseño no experimental, de campo, transversal; y un tipo de estudio descriptivo. La población está conformada por las universidades privadas del Atlántico-Colombia, y los informantes clave son 42 directivos de dichas universidades, quienes estuvieron dispuestos a colaborar brindando información de forma espontánea. Se aplicó un cuestionario, con escala Likert. Los resultados indicaron que los directivos consideran que los cambios son necesarios en todos los ámbitos de la vida del individuo, ya que son determinantes en la toma de decisiones; por ello, se requiere tomar acciones ante imprevistos, reduciendo la resistencia al cambio. Se concluye que el personal directivo está dispuesto a asumir los cambios de una manera positiva, a través de estrategias que permitan atenuar los impactos negativos, propiciando sentido de pertenencia con la organización.

Palabras clave: gestión, cambio organizacional, resistencia al cambio, aprendizaje, universidades.

ABSTRACT

The changes are a set of structural and behavioral alterations, which are intimately compiled, according to an adequate strategy, to obtain the best results. Therefore, the central objective of the article was to analyze the management of organizational

change as a driving force in Atlántico-Colombia universities. The research is methodologically based on a positivist approach, with a non-experimental, cross-field design; and a descriptive type of study. The population is conformed by the private universities of the Atlántico-Colombia, and the key informants are 42 managers of these universities. A questionnaire was applied, with Lickert scale. The results indicated that the managers consider that changes are necessary in all areas of life to be individual, since they are decisive in decision making, therefore, it is necessary to take action against unforeseen events, reducing the resistance to change. It is concluded that the managers are willing to take the changes in a positive way, through strategies that allow mitigation of negative impacts, promoting a sense of belonging to the organization.

Keywords: management, organizational change, resistance to change, learning, universities.

1. INTRODUCCIÓN

Al inicio del siglo XXI, los cambios y transformaciones, producto de la incorporación de las tecnologías han penetrado todos los espacios del mundo empresarial, alterando la naturaleza y el curso futuro de distintas áreas de la sociedad; ejerciendo un impacto significativo sobre todos los aspectos de la vida, incrementando al mismo tiempo la necesidad de agilizar la ejecución de los procesos en general. En este contexto, las tecnologías de información han puesto de manifiesto la complejidad social de las mismas y su omnipresencia en todos los ámbitos de la sociedad (Cabrera & Tacoronte, 2014; Prieto, Emonet, García & González, 2015).

Para Prieto *et al.* (2015) dichas transformaciones se hacen necesarias en el mundo adaptativo donde las organizaciones se encuentran sometidas a demandas diferentes, motivo por el cual deben modificarse, adecuarse para poder responder, permanecer y mejorar en el mercado; todo ello, orientado hacia un desarrollo organizacional eficaz, que se fundamenta en una cultura institucional sólida.

En este orden de ideas, los procesos de cambios y las nuevas tecnologías que surgen en el mercado, producto de un mundo cada vez más globalizado, exigen del empleado, el desarrollo de más habilidades, destrezas y conocimientos. Es así como las organizaciones se han visto en la necesidad de implementar cambios en su estrategia laboral a la hora de enfrentar los retos que se les presentan.

Sobre el particular, en el cambio podría verse inmerso el trabajador producto de las transformaciones derivadas de los adelantos científicos y tecnológicos, como respuesta a las nuevas exigencias del mundo innovador. Este avance ha sido señalado como un riesgo, por lo cual se ven amenazados algunos métodos de trabajo, conocimientos, acciones rutinarias, los cuales conducen a que se experimenten angustias, así como temores, que dificultan apreciar los aspectos positivos para la aplicación de nuevas tecnologías, siendo este el resultado de la resistencia al cambio.

En definitiva, un cambio de paradigma solo puede ser pensado como un compromiso profundo de construir los tipos de capacidades de aprendizaje, el cual se basa en fomentar el sentido de aspiración, de visión compartida, desarrollar la capacidad para reflexionar continuamente, desafiar las suposiciones preva-

lecientes, aprender cómo ver los sistemas más grandes en los cuales operan las organizaciones.

Cabe destacar que Prieto, Villasmil & Urdaneta (2011) señalan que la globalización en el presente ha conllevado a que la gerencia interprete cuál debe ser su rol a fin de garantizar el éxito en el ejercicio de sus funciones. Es por ello que algunos autores han señalado que se ha iniciado un nuevo paradigma, donde, por ejemplo, la humanización de la empresa y la valoración de la cultura se tornan en elementos determinantes en el comportamiento de las organizaciones, aunados a los significativos cambios que ha generado la tecnología, especialmente la electrónica, donde la comunicación por vía de Internet representa un rol muy importante, además del papel determinante del Estado en el comportamiento organizacional de las empresas.

Prieto *et al.* (2011) expresan que las organizaciones son consideradas como espacios o lugares donde las personas de forma continua expanden su capacidad para crear los resultados que verdaderamente quieren, en el cual se cultivan nuevas maneras de pensar, en donde la aspiración colectiva queda en libertad y las personas continuamente aprenden juntas. Aunado a los planteamientos anteriores, es importante considerar que los estudios del comportamiento humano vienen trabajando para conocer cuáles son los vínculos en donde comprometen a las personas para mantenerse más cerca, identificados o involucrados a su organización; de hecho, el compromiso de los trabajadores con la institución.

De acuerdo a esta premisa, el capital humano de una organización, desempeña un papel verdaderamente representativo en el sector económico en el que se desenvuelve, porque está centrado en

una misma perspectiva de trabajo, facilita la producción, las relaciones, la economía y otras áreas de interés en las organizaciones empresariales.

Es por ello que las personas en la organización son vistas como el capital más valioso, la responsabilidad de cada una de estas es elevada porque en ellas se concentran las oportunidades para su desarrollo y de sus estrategias empresariales internas y externas. Debido a las áreas funcionales de dicha organización los empleados manejan información confiable los cuales conforman un sistema organizacional donde brindan oportunidades evaluando de antemano los posibles resultados.

En función de lo planteado anteriormente, se puede decir, que así como evoluciona la tecnología, también lo hace el ser humano cuando se siente involucrado con la organización. Por ello, se hace importante que las directivas desarrollen mecanismos y apliquen estrategias que garanticen al empleado estabilidad laboral, desarrollo personal, social, económico, cultural, legal, de manera donde las personas trabajen de forma inteligente, organizada, quedando de manifiesto donde el individuo se sentirá más satisfecho e involucrado en su ambiente de trabajo coordinado o alineado con sus expectativas laborales.

Visto de este modo, una empresa tiene como objetivos producir, vender, satisfacer a los clientes y remunerar a los accionistas. Para ello, necesita tener estabilidad, equilibrio, así como también orden. El cambio se contrapone a estos conceptos, ya que no es de ninguna forma el estado natural para la empresa. La resistencia al cambio es directamente proporcional al perfeccionamiento organizacional logrado, esto es igual a mayor perfección, mayor resistencia. Lo anteriormente expuesto evidencia, según

Lusthaus, Adrien, Anderson, Anderson & Montalbán (2002) y Prieto *et al.* (2015), la necesidad del cambio ante el cambio; por así decirlo, las presiones generadas por el Gobierno, el ambiente, la globalización, la competencia y la tecnología, en conjunto, conforman cambios en el entorno, porque obligan a la empresa como sistema a adaptarse a través de ajustes en su planificación estratégica, la cual no solo involucra transformaciones en procedimientos, sistemas o maneras de gestionar a la organización, sino la participación de cada uno de sus empleados para alcanzar nuevos objetivos corporativos que permitan al negocio sobrevivir y prosperar.

Por ello, la única forma de conseguir éxito en el proceso del cambio es a través del consenso de todos los involucrados, lo cual se traduce en una fuente de adhesión de los interesados, en los proyectos de renovación desde sus inicios. Ningún cambio puede darse exitosamente sin la participación de todos los interesados que conforman la empresa.

Por consiguiente, la disposición al cambio organizacional desde el punto de vista personal representa el comportamiento de una transformación de la conducta relativamente permanente. A nivel organizacional dichos cambios son importantes porque significan una oportunidad para potenciar las fortalezas de la persona, y cuanto más éxito logre, más necesidad de cambio se le exige.

En lo que respecta al ámbito de las universidades, son consideradas sistemas complejos y delicados, encargados de generar y transferir conocimiento de alta competitividad, nacional e internacional, que luchan por fondos, contratos, subvenciones de investigación o nuevas instalaciones, dentro de un marco

normativo complicado, en el cual, la intervención del Estado es determinante en su comportamiento, especialmente para las universidades públicas.

En el ámbito mundial, las universidades de Colombia presentan deficiencias en su gestión, improvisación, ausencia de cohesión de equipos bien integrados en pro del desempeño de las funciones que favorezcan el logro de sus objetivos, como es la de proporcionar profesionales capacitados de acuerdo a los requerimientos que el presente demanda, capaces de generar cambios en las distintas áreas donde se desempeñan.

En efecto, la renovación del quehacer educativo y del proceso enseñanza/aprendizaje, las políticas no adecuadas y el agotamiento de los esquemas tradicionales, obligan a la educación universitaria a ser proactiva y tener una visión de globalidad que la lleve a transformarse en una organización abierta, democrática, flexible, innovadora, creativa, andragógica, de excelencia y así contribuir con el desarrollo humano sostenido, a través de propuestas de investigación que den respuestas a las necesidades de la sociedad, con base en los siguientes criterios: calidad de vida, solidaridad humana, integridad, equidad y modernidad. Además, los principios de libertad académica, libertad de enseñanza y la autonomía institucional adquieren mayor relevancia.

En líneas generales, la universidad se convierte en un elemento clave en la sociedad, para enfrentar los cambios acelerados de la época; su compromiso radica en la producción de capital humano, así como en la producción de nuevos conocimientos. En este sentido el rol de la universidad en la generación del conocimiento es que a medida que el conocimiento vaya teniendo una impor-

tancia creciente en la innovación, la universidad como institución que produce y determina conocimiento habrá de desempeñar un papel protagónico mayor en la innovación industrial, para tener una sociedad cada vez más informada con capacidad de valorar las actividades vinculadas a la generación y difusión de nuevos conocimientos.

Es por ello que existen razones de naturaleza legal, económica y financiera, que determinan la necesidad de disponer un modelo para la evaluación continua y permanente de cada universidad y del sistema universitario, con miras a impulsar los cambios desde la propia institución universitaria, antes de que le sean impuestos (Gamboa & Naveda citados por Labarca, Ferrer & Villegas, 2006). Las necesidades de cambio que actualmente tienen las instituciones de educación superior autónomas son una evidencia de la capacidad de respuesta que tienen ante los desafíos de una sociedad cada vez más dinámica. Es por ello que se hace indispensable el identificar las posibles tendencias que permitan un cambio organizacional fundamentado en el orden social.

Por lo anteriormente descrito, se justifica realizar un análisis de la gestión del cambio organizacional en las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, en el marco de los tipos de cambio (planeado y no planeado).

2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE CAMBIO ORGANIZACIONAL

2.1 Gestión del cambio organizacional

Según Jiménez (2012) en la literatura sobre gerencia y desarrollo organizacional, la idea del cambio es multisignificante y constan-

temente referenciada como mecanismo para sobrevivir, para mejorar la competitividad y el desempeño, y para alcanzar la legitimidad social, entre otras significaciones. También lo es el objeto del cambio, pues se alude al cambio en las estructuras organizacionales, en la cultura de los miembros de la organización, en los espacios psíquicos de los individuos, en los mecanismos de interacción social tanto formales como informales, en los conocimientos y en los fines mismos de la organización, por mencionar algunos de una amplia lista de objetos de cambio. Estos diversos significados y connotaciones que se le dan tienen en común el supuesto de que gestionar el cambio es posible y se relaciona con diversos aspectos inherentes a una cultura organizacional (Torres-Salazar & Melamed-Varela, 2016).

En este sentido, para LosRecursosHumanos.com (2010), la gestión del cambio organizacional es el marco para gestionar los efectos de los nuevos procesos de negocios, cambios en una estructura organizacional o culturales dentro de la empresa. La gestión del cambio organizacional lleva adelante el lado que tiene que ver con las personas. Ello consiste en aprovechar los cambios del entorno empresarial para el bien de la firma, por ello, las compañías no solo deben ser flexibles, sino que quienes las manejan deben desarrollar una aguda percepción para anticiparse a las contingencias y poder estar así siempre a la vanguardia.

2.2 Cambio organizacional

Dentro de este marco, se identifica la variable cambio organizacional, que Robbins (2009) define como hacer las cosas de manera diferente en una organización. Algunas organizaciones tratan el cambio como algo accidental, este es estudiado como una actividad intencional orientada al logro de las metas. Por su

parte, Schermerhorn (2005) plantea que el cambio en la mayoría de las circunstancias no se da fácilmente, y mientras más grande sea la organización, es seguro que el proceso se vuelva difícil, cambio es una consigna de hoy para muchas, si no para casi todas las organizaciones.

Parte de este cambio puede describirse como radical o estructural. Tiene como resultado una reordenación mayor de la organización o de sus sistemas componentes. En el entorno de negocios de hoy, estos cambios radicales, se inician comúnmente con un evento crítico, como la entrada de un nuevo director general, de un nuevo propietario o una falla dramática en los resultados de operación. Cuando esto ocurre en el ciclo de vida de una organización, el cambio radical es intenso e incluyente.

Asimismo, para Torres (2009), el cambio organizacional es una transformación intencional, a través de la cual, las organizaciones buscan elevar la productividad como una exigencia del desarrollo estructural y su entorno, que constituye una alternativa para enfrentar las presiones internas.

Por su parte, Hernández, Gallarzo & Espinoza (2011) definen el cambio organizacional como la habilidad de adaptación de las organizaciones a las transformaciones que afectan el ambiente interno y externo y que se manifiestan en un nuevo comportamiento organizacional.

En este sentido, el cambio organizacional puede asumirse en las universidades privadas del departamento del Atlántico, como un evento voluntario a partir de las personas para propiciar resultados distintos por el mejoramiento de la organización, aumentando su productividad y competitividad, tal como lo plantea

Hernández, Gallarzo & Espinoza (2011), como el enfoque que más se adapta al desarrollo de la variable en la presente investigación.

2.3 Tipos de cambio organizacional

Como lo indica Schermerhorn (2005), existen dos tipos de cambio, el planeado y el no planeado.

2.3.1 Cambio planeado

No todos los cambios que ocurren en las organizaciones son resultados de la dirección de un agente. Los cambios planeados son el resultado de esfuerzos específicos que un agente realiza. Se trata de una respuesta directa a la percepción de alguna persona acerca de un déficit de desempeño, es una discrepancia entre el estado de cosas deseado y el real. El déficit de desempeño puede representar problemas por resolver u oportunidades por explorar.

En tanto, Moreno (s.f.) afirma que el cambio planeado se refiere a aquellas situaciones en las que un agente de cambio propone de forma ordenada una serie de novedades ante las que el sistema habrá de reaccionar para conseguir objetivos explícitos en plazos determinados y con recursos identificados. La propuesta de incorporación de nuevas unidades de negocio o su ampliación, la adaptación sistemática a nuevas normativas de riesgos laborales, el cambio en los sistemas de producción, o la incorporación de nuevas tecnologías buscando mayores niveles de eficiencia que planteen ventajas competitivas para la empresa, constituyen ejemplos de cambio planificado; el abordaje del proceso es proactivo.

2.3.2 Cambio no planeado

Indica el autor antes mencionado que no es más que aquellos que ocurren de manera espontánea o al azar. Pueden ser negativos y destructores. Cuando las fuerzas del cambio no planeado comienzan a aparecer, la meta adecuada es actuar rápidamente para minimizar cualquier consecuencia negativa y para maximizar cualquier beneficio posible.

Por su parte, Moreno (s.f.) plantea que esta tipología está referida a aquellas situaciones en las que el sistema ha de responder a novedades no buscadas provenientes del exterior (un cambio legislativo, la emergencia de una innovación tecnológica o una modificación relevante de las condiciones de los mercados, por ejemplo). En estos casos el cambio se plantea, al menos en un primer momento, como una necesidad de adaptación, a veces defensiva, aunque posteriormente puedan replantearse las perspectivas, el abordaje del proceso es reactivo.

Para este autor, se tiene bien clara la diferencia entre estos dos tipos de cambio, en la práctica, la distancia entre ellos no es demasiado grande. Efectivamente, en muchas ocasiones una organización tiene que reaccionar ante determinadas demandas exteriores y a partir de ellas se plantea aprovechar la oportunidad para incorporar nuevos retos y proponerse objetivos que la mejoren. En este orden de ideas las universidades privadas del departamento del Atlántico hacen esfuerzos para hacer frente a las exigencias del mercado universitario regional, nacional e internacional, diseñando estrategias dinámicas para enfrentar los cambios del entorno de una forma satisfactoria.

Por otra parte, Robbins (2009), identifica también dos tipos de cambios de acuerdo a su magnitud:

2.3.3 Cambio de primer nivel

Sus características se enfocan precisamente por la linealidad y continuidad. En este nivel no se identifican cambios en los supuestos básicos de la gente que forma la organización respecto a las mejoras que puede lograr su empresa; no hay una conciencia profunda respecto a los logros que pudieran ayudar a obtener. En este primer nivel las modificaciones se van aplicando de manera gradual y casi imperceptible, sin que esto signifique un verdadero cambio conceptual o cognoscitivo del individuo, quizá la mera adopción de hábitos.

2.3.4 Cambio de segundo nivel

Se distingue por su multidimensionalidad. En este nivel se hace una transformación radical de la esencia que prevalece entre los empleados respecto a lo que la organización representa; se replantea el ser y el deber ser de la entidad, así como del mundo en que está inmersa.

Por tal motivo, este segundo formato se puede pensar en una revolución, pues las acciones se efectúan a un tiempo, con medidas que nada tienen que ver con la paciencia. Como puede apreciarse, ambos planteamientos son muy similares en su esencia, en el sentido que describen el cambio en cuanto a su magnitud, aunque con planteamientos sustanciales distintos.

Lo que quiere decir, que algunas organizaciones tratan al cambio como algo accidental e indica que las metas del cambio planeado

buscan mejorar la capacidad de la organización para adaptarse a cambios en su ambiente y además trata de cambiar el comportamiento de los empleados. Si una organización ha de sobrevivir debe responder a los cambios en su ambiente.

En el mismo orden de ideas, el cambio organizacional, según Lee (2008), se puede clasificar por tipos, de acuerdo a su naturaleza o propósito, y están vinculados a los factores del entorno o ambiente donde se desenvuelve la empresa, por lo que podrían ser:

2.3.5 Cambio institucional

Es aquel que implica, desde los cambios normativos y legales, pasando por objeto, razón de ser y funciones, hasta la transformación total de la organización, como por ejemplo pasar de una empresa privada a una institución pública.

2.3.6 Cambio estructural

Se produce cuando se modifica la estructura organizativa de una empresa, creando o suprimiendo departamentos, gerencias o áreas de funcionamiento, así como también abarca la adopción de uno u otro tipo de estructura orgánica como lo son: departamentales, matriciales, verticales, funcionales, entre otras, dependiendo de las exigencias y realidades de cada caso.

2.3.7 Cambio tecnológico

Conduce a los cambios que llevan al reemplazo de productos, procesos, diseños, técnicas, entre otros, debido principalmente a los nuevos estilos de vida, a las modernas condiciones de

trabajo y de estructuras organizacionales, la creación de nuevos productos, que originan, modifican o implementan nuevos procesos y sistemas tecnológicos en la organización.

2.3.8 Cambio cultural

Se refiere a las relaciones humanas y cómo estas se llevan a cabo en las organizaciones, el factor de identidad y de lealtad son algunos elementos a tener en cuenta en el cambio cultural, considerando que las sociedades y comunidades, en general, tienen sus propias costumbres, comportamientos, hábitos alimenticios, religiosos, dialectos, entre otros, lo que las hacen pluriculturales y son aspectos que están inmersos en las relaciones humanas dentro de las organizaciones.

2.3.9 Cambio estratégico

Es aquel cambio generalmente impuesto por el entorno para mejorar hacia el futuro, considerando su situación actual. El cambio estratégico implica crear las mejores condiciones en los distintos escenarios donde pudiese estar involucrada la organización analizando las incidencias del entorno, pudiendo ser elementos económicos, legales, sociales, políticos, y de orden tecnológico, entre otros. Principalmente involucra a la gerencia para la toma de decisiones.

Aun cuando los autores tienen semejanza al definir los tipos de cambio organizacionales, para la investigación se tomará en cuenta como primer autor a Schermerhorn (2005), por cuanto aporta información a fin de analizar la variable que se estudia.

2.4 La universidad como promotora de cambio en los procesos de investigación

La universidad será aún más determinante en el futuro si quiere seguir avanzando en el campo de la sociedad del conocimiento. Ello implica que tendrá que ser capaz de reorganizar su misión docente e investigadora hacia un mayor compromiso con la sociedad y el desarrollo de la innovación, como base fundamental para el crecimiento económico y social.

Para ello, la universidad debe desarrollar una cultura de excelencia por ser esta la institución donde el capital humano obtiene el conocimiento para ejercer un determinado desempeño laboral. Es una realidad el hecho de que vertiginosamente se está entrando en una nueva generación del conocimiento, por lo que se hace necesario que la educación superior, esté orientada a obtener desarrollos tecnológicos y científicos con el fin de enfrentar la dinámica y las exigencias sociales, que permitan el manejo eficiente de la información para las actuales y futuras generaciones.

En este orden de ideas, Cardoso (2002) expresa que la organización de la investigación en la universidad se tornará más sencilla para toda la comunidad universitaria. Basta con que haya grupos de docentes interesados en estudiar alguna problemática coherente con la orientación de la universidad, que esta les conceda algún apoyo y ellos comiencen a producir resultados. Bien administrado, el proceso forma una bola de nieve: los primeros resultados generan reconocimiento y permiten obtener financiación externa que conduce a lograr más resultados y a generar cooperaciones con grupos de otras instituciones. Al cabo de unos años el grupo tiene reconocimiento nacional, empieza a

ser visto internacionalmente, está en capacidad de formar nuevos investigadores para que se integren a él y puede, por lo tanto, dar base a posgrados de excelente calidad. La docencia a su alcance se habrá visto modificada por completo, generando una serie de cambios se pueden obtener resultados significativos.

3. MÉTODO

3.1 Diseño

Para abordar el objetivo del presente artículo, es importante precisar su componente metodológico, el cual presenta un enfoque cuantitativo bajo la modalidad de estudio de caso, con diseño no experimental de campo de tipo descriptivo, por cuanto, las universidades privadas del Atlántico, Colombia, fueron descritas en su estado natural.

3.2 Participantes

Dentro de este contexto, la población objeto de estudio, estuvo conformada por las universidades privadas ubicadas en el departamento del Atlántico, Colombia, siendo para este caso los informantes clave los directivos y administrativos de esta casa de estudio, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1
Población de estudio

Universidades Barranquilla (Colombia)	Directivos
Universidad Autónoma del Caribe	9
Universidad Simón Bolívar	10
Universidad del Norte	15
Universidad de la Costa	8
Total	42

Fuente: Elaboración propia

En este sentido, los informantes clave están constituidos por directivos y administrativos de las universidades privadas ubicadas en el departamento del Atlántico, Colombia, respectivamente, razón por la cual se constituyen en el grupo de interés y responsables de las organizaciones objeto de estudio.

3.3 Instrumentos

La técnica empleada fue la encuesta a través de un cuestionario tipo escala Likert, cuya confiabilidad arrojó $r = 0,87$, indicando tener una confiabilidad muy alta.

3.4 Procedimientos

El proceso de la investigación se llevó a cabo por etapas. Una vez determinada la problemática, se ha procedido con la revisión teórica y la selección de técnicas e instrumentos adecuados para la recolección de los datos. Se elaboró un instrumento, el cual se aplicó en las universidades privadas ubicadas en el departamento del Atlántico, Colombia.

Se validó el contenido de los instrumentos y la estructura del cuestionario a través de la opinión de 10 expertos. Se ha recolectado la información que se ha procesado técnicamente a partir de una muestra de 42 informantes. Comprobado esto se han tabulado los datos para el análisis final, lo que ha permitido generar las conclusiones de la investigación.

Tabla 2
Baremo

CATEGORÍAS	RANGOS
Muy Baja	1 - 1,8
Baja	1,8 - 2,6
Media	2,6 - 3,4
Alta	3,4 - 4,2
Muy Alta	4,2 - 5

Fuente: Elaboración propia

Para la categorización de los valores presentados con la calificación, se realizó el baremo que se muestra en la Tabla 2.

4. RESULTADOS

Para el análisis de los resultados se muestra el comportamiento de cada variable, dimensión e indicador analizado. Los mismos se encuentran presentados en tablas, las cuales muestran los datos obtenidos de la aplicación de los instrumentos a la población seleccionada, tal como se detalla a continuación.

Tabla 3
Cambio planeado

ALTERNATIVAS	CAMBIO PLANEADO						CATEGORÍAS	RANGO
	DIRECTIVOS							
	ÍTEM 1		ÍTEM 2		ÍTEM 3			
	Creo que el cambio beneficia a todo el personal de la universidad.		Tengo la información precisa sobre la forma de emprender el cambio en los procesos de investigación en la universidad.		Estoy realmente motivado para emprender los cambios planeados en la investigación en la universidad.			
FA*	%	FA*	%	FA*	%			
NUNCA	0	0	0	0	0	0	Muy Baja	1 - 1,8
CASI NUNCA	6	14,3	6	14,3	5	11,9	Baja	1,8 - 2,6
ALGUNAS VECES	11	26,2	7	16,7	2	4,8	Media	2,6 - 3,4
CASI SIEMPRE	12	28,6	17	40,5	15	35,7	Alta	3,4 - 4,2
SIEMPRE	13	31,0	12	28,6	20	47,6	Muy Alta	4,2 - 5
MEDIAS	3,76		3,83		4,19		4,15783	Alta 4,1578
MEDIANA	4		4		4		4,4167	
MODA	5		4		5		4,8333	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,055		1,01		0,994		0,9524	

*Frecuencia absoluta

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, luego de analizar las respuestas emitidas por el personal directivo de las universidades privadas, se pudo constatar que en el ítem 1, los encuestados manifestaron tal como se observa en la Tabla 3, 13 de ellos correspondientes al 31 %, manifestó que siempre dichos cambios benefician a todas las personas en la institución; asimismo, 12, representados por el 28,6 % contestó que casi siempre, por su parte, 11, correspondientes al 26,2 % respondió que algunas veces, mientras que los seis restantes con el 14,3 % dijo que casi nunca los cambios benefician a todas las personas en la empresa.

En el ítem 2, de los 42 directivos abordados, tal como se observa en la Tabla 3, 12 de ellos correspondientes al 28,6 %, expresó que siempre tienen la información precisa sobre la forma de emprender el cambio en la institución, 17 equivalentes al 40,5 % manifestó que casi siempre, siete constituidos por el 16,7 % respondió algunas veces y los seis restantes, igual al 14,3 % casi nunca.

Al abordar el ítem 3, 20 de los encuestados contestaron que siempre están realmente motivados para emprender los cambios planeados en la institución, lo que equivale al 47,6 %. Por su parte, 15 respondieron casi siempre, representando el 35,7 %, dos manifestaron que algunas veces, alcanzando el 4,8 % y los cinco restantes, correspondientes al 11,9 % dijo que casi nunca están realmente motivados para emprender los cambios planeados en la empresa.

El análisis previo permite afirmar de una manera consolidada que se cumple en gran medida con el cambio planeado dentro de las actividades de investigación en las universidades privadas del

departamento del Atlántico, Colombia, ya que se consideran los aspectos relevantes de los cambios, la forma de comunicarlos y generar las condiciones e incentivos necesarios a los investigadores para el desarrollo de las actividades investigativas.

Tabla 4
Cambio no planeado

	CAMBIO PLANEADO						CATEGORÍAS	RANGO
	DIRECTIVOS							
	ÍTEM 4		ÍTEM 5		ÍTEM 6			
	Estoy consciente en asumir los cambios improvisados que se quieran implementar en la universidad en las actividades de investigación.		Los cambios improvisados garantizan estabilidad a todos los profesores investigadores de la universidad.		Son mis aportes importantes para el cambio que se quiere implantar en las actividades de investigación de forma no planeada en la universidad.			
ALTERNATIVAS	FA*	%	FA*	%	FA*	%		
NUNCA	2	4,8	2	4,8	1	2,4	Muy Baja	1 - 1,8
CASI NUNCA	1	2,4	4	9,5	5	11,9	Baja	1,8 - 2,6
ALGUNAS VECES	9	21,4	10	23,8	1	2,4	Media	2,6 - 3,4
CASI SIEMPRE	1	2,4	8	19,0	9	21,4	Alta	3,4 - 4,2
SIEMPRE	29	69,0	18	42,9	26	61,9	Muy Alta	4,2 - 5
MEDIAS	4,16667		4,33333		4,16667		4,1844	Alta 4.1844
MEDIANA	4,5		4		4,5		4,50	
MODA	5		4		5		4,83	
DESV. ESTÁNDAR	0,98319		0,51639		0,98319		0,8561	

*Frecuencia absoluta

Fuente: Elaboración propia

En relación al cambio no planeado, al realizar el abordaje en el personal directivo, se pudo constatar que en el ítem 4, los encuestados manifestaron tal como se observa en la Tabla 4, que 29 de ellos, correspondientes al 69 %, manifestó que siempre están conscientes en asumir los cambios improvisados que se requieran implementar en la empresa, asimismo, uno representado por el 2,4 % contestó que casi siempre; por su parte, nueve correspondientes al 21,4 % respondieron que algunas veces, mientras que una persona con el 2,4 % dijo que casi nunca y los dos restantes, equivalentes al 4,8 % consideraron que nunca están conscientes en asumir los cambios improvisados que se requieran implementar en la empresa.

En relación al ítem 5, de los 42 directivos abordados, 18 de ellos correspondientes al 42,9 % expresó que siempre los cambios improvisados garantizan estabilidad a todos los trabajadores de la empresa, del mismo modo ocho, equivalentes al 19 % manifestó que casi siempre, 10 constituidos por el 23,8 % respondió algunas veces, cuatro con el 9,5 % dijo casi nunca y los dos restantes, con un 4,8 % contestaron que nunca los cambios improvisados garantizan estabilidad a todos los profesores investigadores de la universidad.

Al realizar el abordaje a los directivos en el ítem 6, 26 de los encuestados, contestaron que siempre sus aportes son importantes para los cambios que se requieren implantar en las actividades de investigación de forma no planeada, lo que equivale al 61,9 %, por su parte nueve respondió casi siempre, representando el 21,4 %, uno manifestó que algunas veces, alcanzando el 2,4 %, cinco correspondientes al 11,9 % dijo que casi nunca y uno equivalente al 2,4 % negó sus aportes sean importantes para el cambio que se requieren implantar en las actividades de investigación en la universidad de forma no planeada.

4.1 Discusión

Las organizaciones, explican Goñi (2012) y Prieto *et al.* (2015), actúan en cierta forma como los seres vivos en cuanto a adaptación, así como coordinación tanto externa como interna con su entorno. En este sentido, el entorno en el cual se mueven las universidades en la actualidad, caracterizado por la incorporación creciente de las tecnologías de la información y las comunicaciones, nuevos sistemas de gestión de calidad, incrementa el volumen de las actividades de una manera exponencial en el tiempo.

Una vez analizados los tipos de cambio organizacional en las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, se pudo constatar que para los directivos, se conoció que se cumple en gran medida con el cambio planeado dentro de las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, ya que se consideran los aspectos relevantes de los cambios, la forma de comunicarlos y generar las condiciones e incentivos necesarios a los profesores investigadores para emprender los mismos en las universidades.

En cuanto a los estadísticos calculados, se obtuvo una media de 4,15783, categorizada en el rango de interpretación alta, lo cual se complementa con los resultados de la moda de 4,8333 como valor más alto y la mediana de 4,4167 como valor ubicado en un punto alto de la distribución ordenada, ambas ubicadas en el rango de interpretación muy alta. La desviación estándar de 0,9524 indica que los sujetos estudiados se distribuyen entre los rangos de interpretación muy alta, lo cual establece una distribución de datos con una baja dispersión, lo que indica una presencia

importante del indicador cambio planeado en las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia.

Cabe destacar que en el análisis anterior se presentaron algunas posiciones divergentes en relación al tipo de pregunta que se les realizaba a los directivos, sin alterar los resultados obtenidos. No obstante, se hace necesario prestar mayor atención a las opiniones que se emiten en la universidad. Es por ello, que el cambio planeado se justifica siempre para preparar al recurso humano en la consecución de los objetivos de la institución.

Dichos resultados concuerdan con lo expresado por Schermerhorn (2005), quien afirma que el cambio planificado en la empresa debe entenderse siempre como un proceso, cuya gestión conlleva la realización de una serie de actividades ordenadas y sistemáticas, utilizando diversas herramientas que se consideran necesarias para la adaptación de la empresa a las variaciones del entorno, de forma que se creen o conserven ventajas competitivas.

Por su parte, en cuanto al cambio no planeado se evidenció que en relación a los estadísticos calculados, se obtuvo una media de 4,184 categorizada en el rango de interpretación alta, lo cual se integra con los resultados de la moda de 4,83 como valor más alto y la mediana de 4,50 como valor ubicado en un punto alto de la distribución ordenada, ambas ubicadas en el rango de interpretación muy alta. La desviación estándar de 0,8561 indica que los sujetos estudiados se distribuyen igualmente en dicho rango lo cual establece una distribución de datos con una baja dispersión, lo que muestra una presencia significativa del indicador cambio

no planeado en las actividades de investigación en las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia.

Del mismo modo, las personas encuestadas arrojaron unos resultados significativos, que permiten indicar que efectivamente los cambios no planeados pueden ser abordados de una manera clara por los directivos de las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, ya que dichos cambios son necesarios cuando se presentan situaciones extraordinarias en las mismas, o cuando se producen fallas, lo que genera una alta participación del recurso humano, todo ello según la apreciación de los directivos de las universidades seleccionadas para el estudio.

No obstante, en el presente análisis se presentaron algunas divergencias por parte de los trabajadores, en relación a que los cambios no planeados perjudican la estabilidad de la universidad y generan peligro para las actividades de investigación. Lo anteriormente expuesto tiene coincidencia con los aportes de Schermerhorn (2005), el cual indica que el cambio no planeado no es más que aquel que ocurre de manera espontánea o al azar y la meta adecuada es actuar rápidamente para minimizar cualquier consecuencia negativa y para maximizar cualquier beneficio posible.

Según Labarca *et al.* (2006), lo anteriormente expuesto permite inferir que, para la consecución de los objetivos en la universidad, se hace imprescindible la aplicación de principios gerenciales basados en el cambio organizacional y la participación activa de la comunidad universitaria (autoridades, profesores, administrativos, obreros y estudiantes) para el logro de los cambios, que exige la universidad colombiana y la sociedad en general, en pleno siglo XXI.

5. CONCLUSIONES

El éxito en la aplicación del cambio en la organización dependerá de la forma como los directivos asimilen y manejen la información; principalmente debe haber pleno convencimiento de la evolución que se quiere, para que el mensaje no se convierta en un trauma para los trabajadores, por lo que se hace importante que los altos directivos conozcan que los cambios generan metamorfosis en la estructura física, en la tecnología, en los equipos, y por supuesto en el talento humano, por lo que las directrices deben ir en función de hacer comprender a los equipos de trabajo lo indispensable de los cambios.

En el caso de las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, para que se logre un desempeño eficiente, adecuado, productivo y competitivo, a las exigencias del mercado científico actual, se hace indispensable contar con un personal capaz de dirigir los procesos de cambio de una forma proactiva, además de contar con los recursos necesarios para su eficaz desempeño.

En lo que respecta a los tipos de cambio organizacional presentes en las universidades privadas del departamento del Atlántico, Colombia, se pudo evidenciar que las nuevas formas se realizan de manera natural en función de sus necesidades, como parte de los objetivos de la organización, por lo que se hace de gran relevancia, generar sinergia entre la directiva y todo su personal de la universidad, a fin de minimizar los focos de resistencia al cambio, que en cierta forma retrasan los procesos de transformación institucional y la posibilidad de tomar decisiones acertadas que beneficien a todos sus miembros. Se hace entonces indispensable hacer acompañamientos constantes, en los que se

estimule la creatividad e innovación, la formación permanente en las actividades de investigación, a fin de corregir desviaciones y generar confianza en los equipos de trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera, S. & Tacoronte, D. (2014). El cambio estratégico en las empresas públicas desde la perspectiva directiva. Estudio de las televisiones regionales en España. *Revista Innovar*, 24(51), 99-112.
- Cardoso, J. L. V. (2002). Prospectiva de investigación en la universidad colombiana. *Nómadas*, (17), 169-181.
- Goñi, J. (2012). *La tecnología: base de un progreso consciente para elegir un futuro*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Hernández, J. A., Gallarzo, M. & Espinoza, J. D. J. (2011). *Desarrollo organizacional: un enfoque latinoamericano*. México: Pearson Educación.
- Jiménez, C. N. (2012). Gestión del cambio organizacional. Recuperado desde: <http://www.eumed.net/ce/2012/cnj.pdf>
- Labarca, N., Ferrer, J. & Villegas, E. (2006). Cambio organizacional: Aspecto trascendental para las instituciones de educación superior en Venezuela. *Revista de Ciencias Sociales*, 12(1), 62-71.
- Lee, L. (2008). Gestión de la empresa. Recuperado desde: <http://www.geocities.ws/angelcontrerasna/gestion/foro3.htm>
- LosRecursosHumanos.com (2010). Gestión del cambio organizacional. <http://www.losrecursoshumanos.com/gestion-del-cambio-organizacional/>
- Lusthaus, C., Adrien, M., Anderson, F., Anderson, G. & Montalbán, G. (2002). *Evaluación organizacional. Marco para mejorar el desempeño*. New York, USA: Banco Interamericano de Desarrollo y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Moreno, Á. M. (s.f.). Gestión del cambio en las organizaciones. Recuperado desde: <http://www.aduma.cat/Documentos/Gestion-delcambio.pdf>

- Prieto, R., Emonet, P., García, J. & González, D. (2015). Cambio organizacional como estrategia de gestión en las empresas mixtas del sector petrolero. *Revista de Ciencias Sociales*, 21(3), 386-402.
- Prieto, R., Villasmil, M. & Urdaneta, L. (2011). Gestión humana en organizaciones postmodernas. Base fundamental hacia la excelencia organizacional. *Revista del Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales (CICAG)*, 8(2), 1-12.
- Robbins, S. (2009). *Fundamentos de la administración, conceptos esenciales y aplicaciones*. (Sexta edición). México D.F.: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Schermerhorn, J. (2005). *Organizational Behavior*. (Novena edición). New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Torres-Salazar, P. & Melamed-Varela, E. (2016). Fundamentos teóricos de la cultura desde la óptica de las organizaciones. *Desarrollo Gerencial*, 8(1), 143-164. <https://doi.org/10.17081/dege.8.1.1411>
- Torres, W. (2009). Compromiso organizacional y desempeño laboral en la gerencia de contratación en las empresas mixtas del sector petrolero. *Tesis Doctoral*. Universidad Dr. Rafael Bellosó Chacín, Maracaibo, Venezuela.

Cómo citar este capítulo:

Prieto-Pulido, R., Hernández-Ariza, O., Palacios-Arrieta, A., Paz-Marcano, A., Regalao-Noriega, C. & De la Hoz-Reyes, R. (2018). Gestión del cambio organizacional como elemento dinamizador en universidades del Atlántico-Colombia. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.211-239). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Conclusiones

Las técnicas utilizadas para la toma de decisiones empresariales son más diversas y especializadas. Cada vez se requieren de mayores y actualizados conocimientos para que el enfoque de mejora utilizado por las organizaciones se ajuste adecuadamente a su entorno de aplicación.

El dominio de herramientas en las ingenierías y la administración como la investigación de operaciones (IO) y las ciencias administrativas (CA) permiten identificar y enfocar esfuerzos donde son realmente importantes y necesarios. La propuesta de nuevas orientaciones que aporten a la generación de nuevo conocimiento en la investigación de operaciones y las ciencias administrativas ayudará a aquellos que las utilizan a adaptarlas a su quehacer diario, resolviendo problemas que en algún momento no tenían una solución cuantificable.

En esta obra han sido presentados distintos enfoques de optimización y mejora en sistemas donde fue posible aplicar la investigación de operaciones y las ciencias administrativas. Los avances expuestos en áreas como el control estadístico de la calidad, la localización de instalaciones, las cadenas de suministro, los sistemas de gestión integral, los sistemas en salud y la gestión del cambio organizacional dan una nueva perspectiva de aplicación en entornos industriales y de servicios.

Cada una de las conclusiones obtenidas en los diversos capítulos que componen esta obra pretende ser una guía para los seguidores de la investigación de operaciones y las ciencias administrativas, así como para todos aquellos investigadores de las comunidades científicas nacionales e internacionales quienes pretenden incrementar su nivel de conocimiento en estas corrientes del saber científico universal.

Esta obra presenta nuevos desarrollos de reconocidos investigadores iberoamericanos en las áreas de la investigación de operaciones y las ciencias administrativas. El lector encontrará avances y aplicaciones en temáticas como el control estadístico de la calidad, la localización de instalaciones, las cadenas de suministro, los sistemas de gestión integral, los sistemas en salud y la gestión del cambio organizacional. Estos desarrollos pretenden ser modelos de referencia en la aplicación de las temáticas consideradas en la presente obra.

ALEXANDER D. PULIDO-ROJANO es Ingeniero Industrial de la Universidad de la Costa (Barranquilla, Colombia), Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia), y Doctor en Estadística y Optimización de la Universitat Politècnica de València (España). Actualmente es profesor de planta en el Programa de Ingeniería Industrial en la Universidad Simón Bolívar de Barranquilla (Colombia), investigador asociado de Colciencias y miembro del grupo de investigación GEMAS.

PAOLA ANDREA SÁNCHEZ-SÁNCHEZ es Ingeniera Industrial con Magíster y Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Colombia. En la actualidad es profesor asociado a la facultad de Ingenierías en la Universidad Simón Bolívar - Barranquilla, Colombia, investigador asociado de Colciencias, miembro del grupo de investigación IngeBiocaribe, líder de la línea de investigación en Inteligencia Artificial y editora de la revista científica Investigación e Innovación en Ingenierías.

ENRIQUE MELAMED-VARELA es Magíster (c) en Administración de Empresas e Innovación, Especialista en Gerencia e Innovación, Administrador de Empresas. Investigador vinculado al grupo de investigación Gestión Organizacional de la Universidad Simón Bolívar; ha sido joven investigador e innovador del programa liderado desde la dirección de mentalidad y cultura de COLCIENCIAS y profesional de publicaciones científicas en las Ciencias Sociales y Humanas como de las Ingenierías y Tecnología.

EDICIONES
**UNIVERSIDAD
SIMÓN BOLÍVAR**



ISBN 978-958-5430-88-4



9 789585 430884