

Casos de estudio en Gestión de Operaciones y Logística

*Una contribución a la formación
en investigación cualitativa
y cuantitativa*

Experiencias Grupo CINDES



GRUPO DE INVESTIGACIÓN



**UNIVERSIDAD
LIBRE**
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación
Facultad de Ingeniería (CIFI)

4

Los autores

LEILA NAYIBE
RAMÍREZ CASTAÑEDA

JOSÉ IGNACIO
CAMPOS NARANJO

EVER ÁNGEL
FUENTES ROJAS

SONIA LUCILA
MENESES VELOSA

FRANCI CAROLINA
PINEDA MORA

ÉDGAR
DUARTE FORERO

MANUEL
CAMACHO OLIVEROS

MARÍA ANGÉLICA
VIASUS FLÓREZ

JHON ALEXANDER
CHAPARRO MANRIQUE



Casos de estudio en Gestión de Operaciones y Logística

*Una contribución a la formación
en investigación cualitativa
y cuantitativa*

Experiencias Grupo CINDES

GRUPO DE INVESTIGACIÓN



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación
Facultad de Ingeniería (CIFI)

4

Casos de estudio en gestión de operaciones y logística : una contribución a la formación en investigación cualitativa y cuantitativa / Grupo CINDES. -- Bogotá : Universidad Libre, 2022.

160 p.; il., gr. (Colección gestión de las organizaciones y productividad ; 4)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN : 978-958-5578-91-3

1. Distribución logística -- Investigaciones -- Colombia 2. Aceite de palma --Aplicaciones
I. Grupo Ciencia e Ingeniería para el Desarrollo Sustentable - CINDES

658.7

SCDD 21

Catalogación en la Fuente – Universidad Libre. Biblioteca

Comentarios y sugerencias

Editora académica: Sonia Lucila Meneses Velosa, docente jornada completa - programa Ingeniería Industrial, coordinadora Grupo de Investigación CINDES

Correo: sonial.menesesv@unilibre.edu.co

© Facultad de Ingeniería, 2022.

© Universidad Libre, sede principal, 2022.

ISBN DIGITAL: 978-958-5578-91-3

Queda hecho el depósito que ordena la Ley.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra ni su incorporación a un sistema informático ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

Coordinación de edición: Comité Editorial Facultad de Ingeniería

Correo: comiteeditorial.ing.bog@unilibre.edu.co

Fotografías carátula e inicio capítulos: <https://www.freepik.es/home>

Editorial: Universidad Libre

Coordinación de Publicaciones y Comunicaciones

Correo: comunicaciones@unilibre.edu.co

Calle 8 n.º 5-80, tel. 3821000, Bogotá, D. C.

Producción: AF&M Producción Gráfica S.A.S.

Diseño carátula y diagramación: Diana Guayara V. - eykon.graffein@gmail.com

Esta obra está cofinanciada por el Fondo de Publicaciones de la Universidad Libre.

Elaborado en Colombia en los talleres gráficos

de AF&M Producción Gráfica S.A.S.

Carrera 68 G n.º 64A - 31

tel. +57(1) 250 1584

afmproducciongrafica@gmail.com

Bogotá, D. C., Colombia, 2022

Produced in Colombia



UNIVERSIDAD LIBRE®
Vigilada Mineducación

Directivas

JORGE ALARCÓN NIÑO
Presidente Nacional

JORGE GAVIRIA LIÉVANO
Vicepresidente

FERNANDO ENRIQUE DEJANÓN RODRÍGUEZ
Rector Nacional

FLORO HERMES GÓMEZ PINEDA
Secretario General

RICARDO ZOPÓ MÉNDEZ
Censor Nacional

ELIZABETH VILLAREAL CORRECHA
Directora Nacional de Investigaciones

ELIZABETH GARCÍA GONZÁLEZ
Presidenta Sede Principal

ARTURO SALINAS SUÁREZ
Rector Sede Principal

MÓNICA PATRICIA FORTICH NAVARRO
Directora Seccional de Investigaciones

JOHN ALBEYRO PEÑA CARREÑO
Decano Facultad de Ingeniería

HÉCTOR FERNANDO ROJAS MOLANO
*Director Centro de Investigación
Facultad de Ingeniería (CIFI)*

MAURICIO ALONSO MONCADA
Director Programa de Ingeniería de Sistemas

FREDY ALEXANDER AGUIRRE GÓMEZ
Director Programa de Ingeniería Mecánica

GINA PAOLA GONZÁLEZ ANGARITA
Directora Programa de Ingeniería Ambiental

ANDRÉS GIOVANNI GUARÍN PALOMINO
Director Programa de Ingeniería Industrial

FERNANDO PÉREZ PALOMINO
Director Núcleo Común

FABIÁN BLANCO GARRIDO
Director Instituto de Posgrados

SOBRE LOS AUTORES

LEILA NAYIBE RAMÍREZ

Ingeniera Industrial de la Universidad Libre, Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes y actualmente es candidato a Doctorado en Ingeniería en la Universidad Javeriana. Se desempeña desde 2008 como docente de Jornada Completa en la Universidad Libre - Sede Bogotá. Sus áreas de interés y experiencia giran alrededor de la optimización y modelamiento matemático de sistemas agroindustriales y logísticos. *Contacto:* leylan.ramirez@unilibre.edu.co

JOSÉ IGNACIO CAMPOS NARANJO

Ingeniera Industrial de la Universidad Antonio Nariño, Maestría en Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Friburgo en Suiza, actualmente es candidato a Doctorado en Ciencias de la Dirección de la Universidad del Rosario. Se desempeña desde 2003 como docente de Jornada Completa en la Universidad Libre - Sede Bogotá, desarrollando proyectos alrededor del tema de la relación de la innovación y gobernanza en la sostenibilidad de las agroindustrias. *Contacto:* josei.camposn@unilibre.edu.co

CAROLINA PINEDA-MORA

Ingeniera Industrial egresada de la Universidad Libre, Tecnóloga en contabilidad y finanzas del SENA. Sus áreas de interés y experiencia giran alrededor de la

logística y aplicaciones de software para soluciones en Pymes. *Contacto:* francipinedam@unilibre.edu.co

EDGAR DUARTE-FORERO

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad del Norte. Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y actualmente estudiante del Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Se desempeña desde 2013 como docente de Jornada Completa en la Universidad Libre - Sede Bogotá, desarrollado proyectos alrededor del tema de logística hospitalaria utilizando técnicas de optimización, heurísticas bioinspiradas y simulación discreta y continua. *Contacto:* edgarl.duartef@unilibre.edu.co

MANUEL CAMACHO-OLIVEROS

Ingeniero Industrial y Especialista en Ingeniería de Producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Sistemas de Calidad y Productividad del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (México). Doctorando en Ingeniería de Procesos de la Universidad EAN. Se desempeña desde 2012 como docente Investigador de Jornada Completa adscrito al departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Libre - Sede Bogotá, desarrollando proyectos relacionados con la Gestión de Operaciones en Sistemas de Salud por medio de la utilización de técnicas de mejoramiento continuo, analítica de datos, análisis de redes sociales, optimización discreta y simulación. *Contacto:* manuel.camachoo@unilibre.edu.co

SONIA LUCILA MENESES VELOSA

Ingeniero Industrial de la Universidad de Los Andes. Especialización en Finanzas en Universidad EAFIT, Magister en protección y prevención de riesgos laborales de la Universidad de Alcalá de Henares. Se desempeña desde 2010 como docente de Jornada Completa en la Universidad Libre - Sede Bogotá, desarrollado proyectos alrededor del tema de Seguridad Industrial, Gestión del Riesgo y Confiabilidad. *Contacto:* sonial.menesesv@unilibre.edu.co

MARÍA ANGÉLICA VIASUS FLÓREZ

Ingeniera Industrial de la Universidad Libre - Sede Bogotá, con diplomado en Logística y cadena de suministro, experiencia en planeación del abastecimiento, control de inventarios y compras internacionales.

JHON ALEXANDER CHAPARRO

Ingeniero Industrial de la Universidad Libre, con Diplomado en Logística y Cadena de Suministro y experiencia de 5 años en el sector Bancario (BBVA), con conocimiento en servicio al cliente.

EVER ÁNGEL FUENTES ROJAS

Ingeniero Industrial, con especialización en Gestión y Proyección Social de la Educación y en Administración de Empresas. MBA de Heriot Watt University. Ha tenido la oportunidad de trabajar con el sector público y privado en asesorías a nivel de talento humano, gestión de calidad, optimización y gestión integral de procesos. A nivel de educación superior he dictado clase de pregrado y posgrado. Pertenece a la red de Ingenieros Industriales de Acofi y de la IISE. He sido ponente nacional e internacional en países como Brasil, Perú, Argentina, Chile, EE. UU., España y Costa Rica. Ha trabajado en proyectos de investigación en las áreas de logística, agroindustria, gestión comercial y de producción. turismo de naturaleza, negocios verdes y estandarización de proceso. Contacto: ever.fuentes@unibre.edu.co

CONTENIDO



Plan de lectura de este libro	17
Capítulo 1. Aplicación del modelo de sistema viable al proceso de extracción del fruto de palma de aceite. Enfoque de investigación cualitativo	
JOSÉ IGNACIO CAMPOS NARANJO	17
Introducción	21
Marco teórico	22
Modelo de Sistema Viable	23
Subsistemas del Modelo Sistema Viable	25
Metodología	29
Descripción de la cadena de productiva del aceite de palma	31
Selección del macro sector	31
Selección sistema foco del modelo	32
Conclusiones	34
Futuras investigaciones	45
Trabajo en aula propuesto	46
Bibliografía	46
Glosario	47
	52

Capítulo 2.	Análisis de la aplicación del algoritmo genético para la solución del problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada de dos eslabones. Enfoque de investigación cuantitativo	53
	LEILA NAYIBE RAMÍREZ	
	Introducción	54
	Análisis sistemático bibliográfico en el marco de la solución al problema TULF	55
	Algoritmos genéticos	56
	Definición del problema TULFP (Two Echelon Uncapacitated Facility Location Proble)	57
	Propuesta de solución al problema mediante Algoritmo Genético	60
	Implementación del Algoritmo	63
	Análisis de resultados	65
	Métodos exactos	65
	Resultados de la implementación del algoritmo genético	67
	Conclusiones	70
	Trabajo en aula propuesto	70
	Bibliografía	72



Capítulo 3.	El software de código abierto como aliado logístico en pequeñas empresas. Enfoque de investigación cuantitativa	
	FRANCI CAROLINA PINEDA MORA - EDGAR DUARTE FORERO	
	MANUEL CAMACHO OLIVEROS	85
	Introducción	86
	El uso de software de código abierto en la investigación de operaciones	87
	Caso de aplicación: logística de distribución y software de código abierto	81
	Proceso de distribución logística	82
	Caso particular: distribución de alimentos con ventanas de tiempo	85
	Implementación y uso de software de código abierto	89
	Discusión de resultados	93
	Conclusiones	94
	Trabajo en aula propuesto	95
	Bibliografía	96
	Glosario	98

Capítulo 4.	Sistema de gestión comercial para productos agroindustriales	
	EVER A. FUENTES	99
	Introducción	100
	Sistema de gestión comercial	103
	10 P's del marketing	104
	Investigación de mercados	105
	Geomarketing	105
	Analytics	107
	Algoritmo de colonia de hormigas	108
	Herramientas	110
	Pronósticos	112
	El consumidor	113
	Aplicación de las 10 p's	114
	El modelo	116
	Resultados	117
	Conclusiones	122
	Trabajo en aula propuesto	122
	Bibliografía	123
	Glosario	125
Capítulo 5.	Riesgos de la distribución urbana de mercancías. Enfoque de investigación cuantitativo	
	SONIA MENESES VELOSA - MARÍA ANGÉLICA VIASUS FLÓREZ	
	JHON ALEXANDER CHAPARRO	127
	Introducción	128
	Problema de investigación	129
	Contexto de los riesgos derivados del transporte urbano de mercancías	129
	Riesgos en el transporte de mercancías en Bogotá	131
	Principales indicadores de accidentalidad vial en Bogotá	133
	Siniestros asociados a transporte de carga	134
	Metodología	136
	Norma ISO 31000: 2018	136
	Procesos para gestionar el riesgo en la cadena de suministros	136
	Riesgos del transporte urbano de mercancías	138
	Fuentes de riesgo - amenazas en el transporte de mercancías	139
	Análisis y evaluación de riesgos	140



Métodos a utilizar	140
Arboles de decisión	142
Resultados obtenidos	143
Escenario de riesgo para transporte urbano de mercancías	143
Análisis de escenarios para seleccionar la ruta menos siniestrada	151
Selección del mejor escenario cuando el riesgo es pasar por rutas en áreas con alto nivel de material particulado respirable	153
Árbol de decisiones	156
Conclusiones y recomendaciones	158
Trabajo en aula propuesto	158
Bibliografía	159
Glosario	159



LISTA DE FIGURAS



Figura 1.	Diagrama básico Modelo del Sistema Viable	28
Figura 2.	Diagrama básico sistema tres	30
Figura 3.	Diagrama básico sistema 5	30
Figura 4.	Cadena productiva palma de aceite	32
Figura 5.	Agentes agroindustria de la palma de aceite	33
Figura 6.	Macro sector agro-cadena de productiva del aceite de palma	33
Figura 7.	Sistema foco	34
Figura 8.	Proceso de extracción de aceite de palma	36
Figura 9.	Relación sistema 1 con el entorno	38
Figura 10.	Relación entre sistemas 1 y 2	40
Figura 11.	Relación entre los sistemas 3 y 3	41
Figura 12.	Mecanismos homeostáticos en el Modelo del Sistema Viable	44
Figura 13.	Representación esquemática del sistema	58
Figura 14.	Seudocódigo del Algoritmo Genético	61
Figura 15.	Fase de construcción del algoritmo	63
Figura 16.	Resultado obtenido F.O. cuando la capacidad es superior a la demanda	66
Figura 17.	Resultado obtenido F.O. cuando la capacidad es igual a la demanda	66
Figura 18.	Valor obtenido F.O. cuando la capacidad es menor a la demanda	67

Figura 19. Rendimiento del Algoritmo Genético durante la generación de individuos	68
Figura 20. Tiempo de consumo computacional del Algoritmo Genético comparado con el óptimo	70
Figura 21. Esquema de procesos de una Red de Suministros	82
Figura 22. Acumulación de pedidos en la zona de despacho por hora	85
Figura 23. Hormigas en el punto de decisión	109
Figura 24. Efectos de la cantidad de hormigas que circulan por cada camino	109
Figura 25. Mayor acumulación de feromonas en el camino más corto	110
Figura 26. Casa de la calidad naranja La Vega	111
Figura 27. Pronóstico de la demanda de fresa en Colombia	112
Figura 28. Mercados potenciales para el cultivo de fresa en Colombia	113
Figura 29. Grupos de referencia y características	114
Figura 30. 10 P'S Marketing mix	115
Figura 31. Niveles del producto	115
Figura 32. Ubicación de segmentos en el municipio de Pasca	119
Figura 33. Datos del aplicativo de VisualBots	120
Figura 34. Ruta más corta	121
Figura 35. Portada del aplicativo en Excel	122
Figura 36. Grupos de Cadenas Logísticas que conviven en ciudades	131
Figura 37. Tasa de muertes en accidentes viales 2018	132
Figura 38. Muertes por corredores viales principales	133
Figura 39. Caracterización de víctimas en siniestros que involucraron vehículos de transporte de carga en Bogotá	134
Figura 40. Caracterización por horario y día de la semana de la siniestralidad vial de transporte de carga en Bogotá	135
Figura 41. Principios, marco de referencia y proceso ISO 31000:2018	136
Figura 42. Métodos de soporte y herramientas de análisis de escenario	137
Figura 43. Fuentes de riesgos del proceso logístico de transporte de mercancías	139
Figura 44. Volumen vehicular diario por corredor en Bogotá	144
Figura 45. Emisiones de CO ₂ asociadas al transporte	153
Figura 46. Árbol de decisiones	157



LISTA DE TABLAS



Tabla 1.	Metodología de análisis desde MSV para la cadena productiva del aceite de palma	31
Tabla 2.	Área sembrada según tamaño de cultivo	35
Tabla 3.	Plantas de beneficio en Colombia	36
Tabla 4.	Definición de escenarios	64
Tabla 5.	Resultados obtenidos con X-press	65
Tabla 6.	Parámetros del diseño experimental del Algoritmo Genético	68
Tabla 7.	Resultados de comparación entre el óptimo y el Algoritmo Genético	69
Tabla 8.	Matriz de distancias (metros)	90
Tabla 9.	Parámetros de pedido (minutos)	91
Tabla 10.	Ejemplo de matriz de recorridos para vehículo 1	91
Tabla 11.	Ruta propuesta a ser realizada en la distribución	92
Tabla 12.	Base de datos	101
Tabla 13.	Aplicación de la matriz	110
Tabla 14.	Mercados potenciales y reales para la mora en el mundo	118
Tabla 15.	Porcentaje de cada una de las variables que determinar la compra	120
Tabla 16.	Ruta óptima para los consumidores de la mora	121
Tabla 17.	Cantidad de Material Particulado de la flota de distribución de mercancías	129

Tabla 18.	Costos asociados a demora por efectos de inundaciones en Ejes Viales	144
Tabla 19.	Ruta: AV 69 K 35	145
Tabla 20.	Método Maximin (maximizar la mínima ganancia)	146
Tabla 21.	Minimax	148
Tabla 22.	Maximax	149
Tabla 23.	Método del Valor esperado	150
Tabla 24.	Mortalidad	152
Tabla 25.	Impacto ambiental	154
Tabla 26.	Sobrecosto por seguridad por tonelada	155



PLAN DE LECTURA DE ESTE LIBRO



La Logística inicia desde la logística interna que abastece de recursos a los procesos hasta la distribución, siendo esta última una de las más valoradas por el cliente final y que ayuda a generar nuevas ventajas competitivas. En este sentido la logística, se convierte en el pilar que integra las funciones de la empresa en función de lograr o mantener una ventaja comparativa en mercados cada vez más competitivos, globales y con productos de menor ciclo de vida.

Como parte de la investigación disciplinar establecida en la Universidad Libre, el grupo de Investigación CINDES, estudia y desarrolla proyectos en las diferentes fases de la logística, aplicando herramientas y técnicas pertinentes. La distribución de los capítulos corresponde a secuencia progresiva de la función logística en una organización con una óptica de gestión de procesos.

Por lo tanto, el orden de los capítulos obedece a la lógica de desarrollo de una cadena logística, donde la generación de valor es la base de su desarrollo, sumado a decisiones estratégicas y tácticas como ubicación de bodegas, distribución de mercancías, comercialización y análisis de riesgos. Por ello el grupo CINDES presenta en este libro ejemplos y aplicaciones de Ingeniería en contexto para dar solución a estas problemáticas y presentar metodologías y técnicas actuales.

La forma en que se desarrolla esta forma de abordar la logística se desarrolla así en los diferentes capítulos:

- *Capítulo Uno:* Análisis de Cadena de Valor: Aplicación del modelo de sistema viable al proceso de extracción del fruto de palma de aceite.
- *Capítulo Dos:* Ubicación de Bodegas: implementación de un algoritmo genético para la solución del problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada de dos eslabones.
- *Capítulo Tres:* Herramientas para logística de distribución en pequeñas y medianas empresas
- *Capítulo Cuatro:* Eslabón del Comercio: Desarrollo de un sistema de Gestión Comercial para productos agrícolas.
- *Capítulo Cinco:* Gestión de riesgos aplicada a la distribución urbana de mercancías.

En cada uno de estos capítulos se desarrolla una solución a la problemática específica que debe abordar la logística en una empresa así:

En primer lugar, el primer capítulo, presenta un análisis sobre el uso del modelo de sistema viable como una herramienta valiosa para la identificación y desarrollo de la generación de valor en la función logística. Para este caso se usó como caso de estudio su aplicación a la agroindustria, específicamente el caso de la palma de aceite. El lector podrá observar cómo se aplica el modelo viable paso a paso y los resultados de este método.

En segundo lugar, sobre el problema de seleccionar la mejor Ubicación de las instalaciones, en capítulo uno lo desarrolla mediante la implementación de un algoritmo genético para la solución del problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada de dos eslabones, donde se realiza una breve revisión bibliográfica para evaluar soluciones de problemas similares por este método y se define la estructura básica del algoritmo para dar solución al problema propuesto.

El algoritmo genético aquí planteado, inicialmente resuelve de una forma sencilla que acerca al lector al problema de asignación de Centros de Distribución, determinando los Centros a abrir se empieza a determinar el flujo de producto que pasará por cada uno de ellos. Se evalúa la función objetivo y las restricciones para una población inicial previamente definida en el algoritmo y con base en esta población se inicia el cruce y la mutación.

Para la solución del problema mediante el método propuesto, se diseña una herramienta en Microsoft Visual Basic y se corre el algoritmo para dieciocho (18) instancias

propuestas, con el fin de determinar su efectividad. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos por métodos exactos y se calcula su desviación. El objetivo de este caso es mostrar el uso de esta importante herramienta para aplicarla en problemas de mayor número de centros y clientes.

De otra parte, en el capítulo tres, el lector abordará el tema de la distribución de mercancías, en contexto, es decir con restricciones de tiempo, convirtiéndose en el factor crítico a gestionar. El tiempo es uno de los factores más significativos en la calidad del servicio que se presta en cualquier empresa con relación a sus clientes. Para este problema se aplicó la metodología a una empresa del sector gastronómico, específicamente en los restaurantes, donde la entrega de su producto resulta ser clave para su éxito. Este tipo de empresas requiere una solución logística de programación de vehículos, dicha optimización parte de la revisión bibliográfica de los métodos para la mejora de redes logísticas centradas en el transporte de mercancías como VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows).

El lector podrá conocer cómo se desarrolló la metodología en detalle, iniciando por la caracterización del proceso desde que entran pedidos a la organización hasta que se entregan. Se identificaron los aspectos más críticos y a mejorar durante su gestión a través de la aplicación de una encuesta y de un estudio formal de tiempos. Allí, se evidencia la necesidad de encontrar un modelo que permitió estandarizar las rutas a seguir por los vehículos (bicicletas) y que diera paso a través de diferentes algoritmos matemáticos a una solución al problema.

En el siguiente capítulo, capítulo cuatro, el lector del libro conocerá la caracterización del Sistema de Comercialización de Productos Agroindustriales, fundamental en la cadena logística mediante un caso aplicativo. Se realizó trabajo de campo con los agricultores, distribuidores, transportadores y clientes finales en los 16 municipios y productos seleccionados del departamento de Cundinamarca.

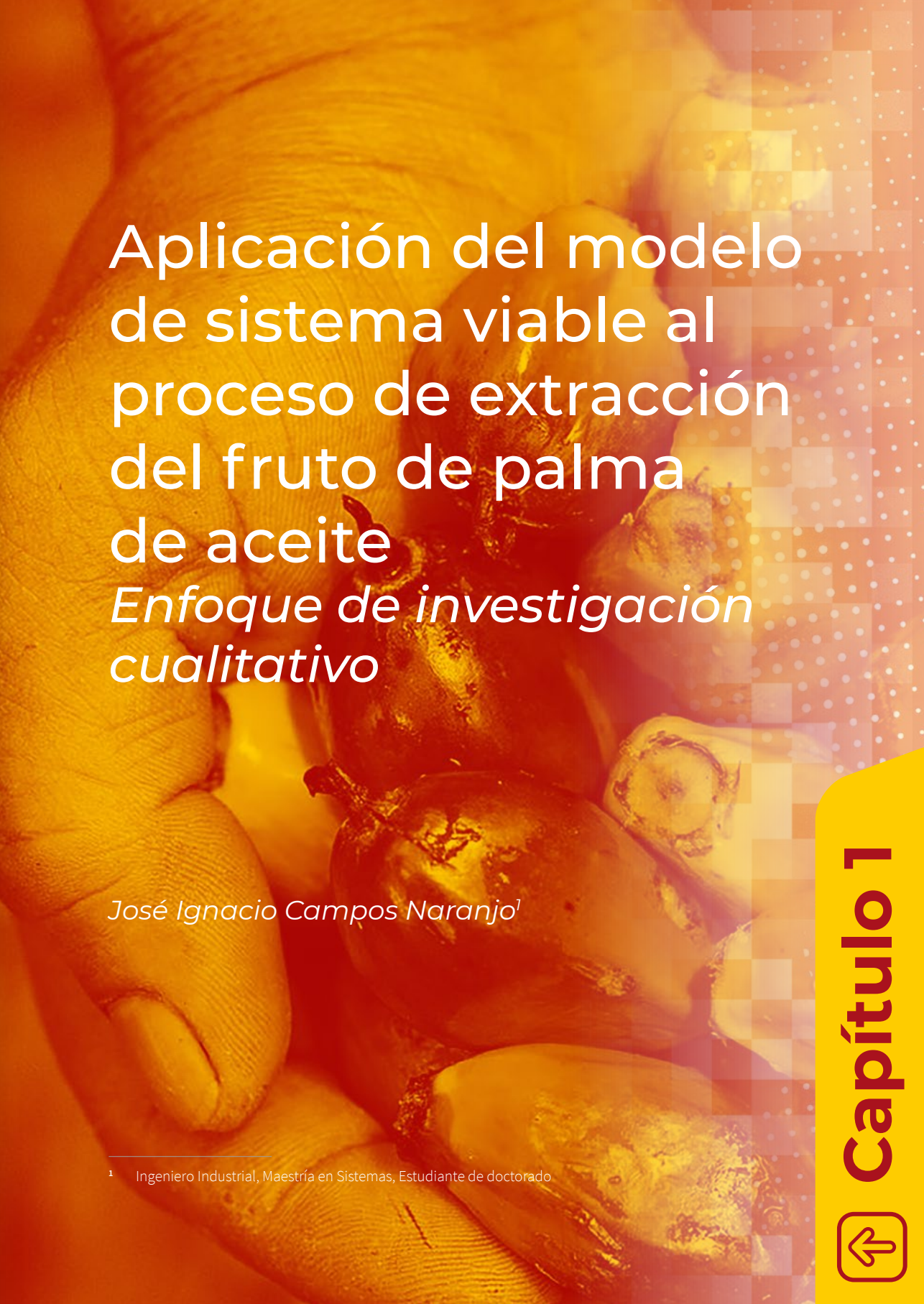
Con la información recolectada se aplicaron 4 herramientas diagnósticas que permitan identificar las variables críticas de las actividades comerciales. Se realizó una vigilancia comercial a nivel local, nacional e internacional para proyectar los comportamientos de la producción, exportación e importación que permita identificar mercados potenciales. A nivel Colombia, se hace un análisis de las 10P's de marketing y de los hábitos de consumo. Se estructura a través de un diagrama el sistema de gestión comercial el cual es simulado a través de un aplicativo en Excel que se alimenta con datos en tiempo real y permite generar estrategias comerciales en diferentes escenarios.

Finalmente, en el capítulo cinco, se presenta la gestión de riesgos de la distribución urbana de mercancías, con herramientas que permitan tomar decisiones para conservar el valor del proceso logístico en las empresas con herramientas y técnicas en contexto, en el proceso de distribución en su planeación y ejecución.

El desarrollo de las diferentes visiones de la logística en las empresas cumple la misión de evidenciar que la logística va más allá de la eficiencia y es la columna vertebral de la ejecución de los procesos y de la generación de ventajas competitivas.

Así, el lector podrá obtener información de cómo aplicar los diferentes métodos y técnicas usadas en cada caso y podrá observar que se aplican a todos los sectores económicos para resolver los problemas de logística presentados. A continuación, se resumen los casos de ingeniería aplicada usados en el presente libro:

<i>Casos por capítulo</i>	<i>Caso sobre el cual se aplicó el método</i>
<i>Capítulo 1</i>	Agroindustria: aceite de palma
<i>Capítulo 2</i>	Aplicable a todos los sectores económicos
<i>Capítulo 3</i>	Sector gastronómico: restaurantes
<i>Capítulo 4</i>	Sector agrícola: frutas y verduras de municipios de Cundinamarca
<i>Capítulo 5</i>	Aplicable a todos los sectores económicos



Aplicación del modelo de sistema viable al proceso de extracción del fruto de palma de aceite

*Enfoque de investigación
cualitativo*

José Ignacio Campos Naranjo¹

¹ Ingeniero Industrial, Maestría en Sistemas, Estudiante de doctorado

Capítulo 1



INTRODUCCIÓN

El vertiginoso desarrollo de nuevas tecnologías, en ocasiones necesarias para dar respuesta al continuo crecimiento de la población, sitúa a los agricultores en una incesante búsqueda tecnológica, que limita su flexibilidad al tomar decisiones de gestión (Sassenrath et al., 2008), transformando así el ambiente agrícola a una naturaleza más compleja, de incertidumbre ambiental, donde se involucran las dimensiones social, ambiental y económica, escenario que requiere de perspectivas holísticas y un enfoque sistémico para su análisis, gestión y resolución de problemas (Shrivastava & Hart, 1992).

La incertidumbre ambiental, es un factor determinante para las organizaciones (Atherton, 2003), surge allí la presencia de complejidad y dinamismo ambiental (Bourgeois, 1985), que ejercen presión sobre las organizaciones, la complejidad del ecosistema es determinada por la cantidad de factores que pueden identificarse en él, y sus posibles interacciones, y el dinamismo refiere los cambios del entorno, así como su frecuencia y magnitud del mismo (Tang, 2009).

Debido a la complejidad y dinamismo circundante del sector agrícola, para el desarrollo del presente estudio se consideró pertinente e innovador el uso del modelo del sistema viable desarrollado por Stafford Beer (Espejo & Harnden, 1989), como herramienta de análisis del proceso de extracción del fruto de palma de aceite, gracias a su capacidad para capturar características y requisitos funcionales dentro de

las actividades del proceso productivo, el cual permite interpretar y analizar situaciones de alta complejidad, aportando herramientas de control y comunicación, sincronizando de forma permanente su relación con el entorno.

Dentro del marco de la investigación titulada Análisis de la relación entre la innovación y la gobernanza en la sostenibilidad las agroindustrias, caso de estudio palma de aceite en Colombia, se desarrolló este capítulo con el propósito de realizar un diagnóstico inicial del sistema organizacional de las extractoras de fruto de fresco de palma de aceite, a fin de comprender el funcionamiento de este eslabón de la cadena. Trabajo que se encuentra articulado con la línea de investigación logística y gestión de operaciones.

MARCO TEÓRICO

La palabra cibernética proviene del griego **Κυβερνήτης** (kybernetes) que significa cibernética, vocablo utilizado por Platón para referirse al arte de conducir un barco (Lewis, 1997), siendo la idea esencial dirigir el navío dentro de un curso óptimo en medio de un entorno variable (Beer, 2002).

La cibernética estudia los conceptos de control y comunicación en organismos vivientes y máquinas (Wiener, 1961), su objetivo establecer como un sistema (informático, mecánico o biológico) procesa la información, y en consecuencia se transforma, y regula para obtener un funcionamiento más eficiente (incluido el control y la comunicación) (Beer, 2002).

Como ciencia interdisciplinaria, la cibernética tuvo sus raíces a partir de la unión de las matemáticas, la lógica, la semiótica, la fisiología, la biología y la sociología (Novikov, 2015; Vallée, 2000). Entre sus características inherentes, se encuentra el análisis y la revelación de principios generales y enfoques en la cognición científica, teorías del control, comunicación, investigación de operaciones, estas representan las más importantes dentro de la disciplina (Novikov, 2015).

Debido a sus múltiples raíces, especialmente en la investigación operativa, la cibernética puede considerarse como la rama del estudio que se ocupa de los sistemas autorreguladores de control y comunicación en los organismos naturales y artificiales en entornos complejos (Beer, 1959; Lewis, 1997). Todo lo sugiere a las organizaciones requieren desarrollar competencias orientadas a detectar, adaptarse y responder a cambios en su entorno de manera rápida y certera (Lewis, 1997).

El uso de la cibernética para el análisis de las organizaciones discutida por Morgan (2006), en su libro *Images of Organization*, propone cuatro principios que apoyan la

teoría cibernética de la comunicación y el aprendizaje, afirmando que los sistemas deben tener la capacidad de:

Revelar y monitorear aspectos importantes de su entorno, comparar la información obtenida de este proceso con las normas operativas que guían el comportamiento del sistema, dar a conocer desviaciones significativas de estas normas y realizar acciones correctivas cuando se detecten diferencias. No obstante, la inteligencia del sistema se fracciona cuando las normas son obsoletas para dar respuesta a los cambios sufridos en el ecosistema (Morgan, 2006).

Conformado por subsistemas, un sistema, es a menudo representado por un círculo, que opera en un entorno simbolizado en forma de ameba para indicar que sus límites no son fijos, en respuesta el sistema deberá estar en capacidad de adaptarse a ellos como a su transformación permanente, en respuesta el sistema deberá estar en capacidad de adaptarse a estos cambios, proceso que dependerá de la inteligencia, recursos disponibles y calidad del sistema (Leonard, 2009).

En respuesta a los cambios permanentes del ecosistema que manan de la dinámica de la relaciones entre seres biológicos y sus ambientes (Espinosa, Harnden, & Walker, 2008), donde una pequeña transformación en un objeto puede producir un gran cambio en todo el sistema (Sengel, 1992), la cibernética ha diferenciado los procesos de “aprender” a los de “aprender a aprender”. Este último denominado aprendizaje de doble ciclo² porque el sistema realiza una doble revisión a una situación específica y debate la relevancia de las normas operativas, con el objetivo de ofrecer nuevas formas sobre cómo las organizaciones pueden innovar y evolucionar para adaptarse a entornos cambiantes, y contribuir a una comprensión de cómo se puede diseñar la gestión estratégica para facilitar el aprendizaje de doble ciclo formulando misiones organizacionales para lograr los objetivos (Morgan, 2006).

La aplicación de los principios mencionados a las organizaciones empresariales dio origen a la cibernética de gestión (Lewis, 1997), cuyo pionero Stafford Beer, la definió como la ciencia que estudia la efectividad de las organizaciones e incrementa la capacidad de interpretación y análisis de situaciones de alta complejidad para lo cual aporta herramientas de control y comunicación, sincronizando especialmente de forma permanente su relación con el ambiente (Gaitán, 2001).

² Proceso de aprendizaje que reemplaza una visión del mundo reduccionista, estrecha, de corto plazo y estática por una visión global holística, amplia y de largo plazo, para rediseñar políticas y organizaciones en consecuencia (Serman, 2000).

La cibernética es formada a partir de los conceptos de variedad³, viabilidad⁴, ley de requisito de variedad de Ashby⁵, teorema de Conant & Ashby⁶, y Modelo de Sistema Viable (Pérez, 2010), sobre este último se profundizará por haber sido seleccionado como herramienta de análisis de la cadena productiva del aceite de palma, debido a la necesidad de un enfoque más holístico, a partir de herramientas analíticas que incorporan principios de pensamiento sistémico y ecológico (Espinosa et al., 2008).

MODELO DE SISTEMA VIABLE

Como uno de los conceptos de los trabajos desarrollados por Beer (1984), y fundamentado en desarrollos estrictamente cibernéticos surge el Modelo del Sistema Viable, soportado en la premisa que ningún sistema es totalmente independiente, pero si puede lograr cierta autonomía dentro de unos límites definidos en términos de su propia fisiología, Beer (2002) define el Modelo del Sistema Viable, como un sistema que es autosostenible de forma similar a un ser humano que es viable si logra sobrevivir fuera del útero, y que funciona esencialmente en superficies dentro de otras superficies (Hoffmeyer, 2008), con la particularidad de contribuir con la descripción de formas sociales coexistentes de diferentes niveles y tipos (Espinosa et al., 2008).

Concebido sobre la base de los principios del sistema nervioso humano, el modelo de Beer, es de aplicabilidad general, diseñado para controlar y coordinar las funciones que permiten a un organismo tratar de manera flexible y proactivamente con el mundo social y físico que existe y constituye a través de sus propias actividades (Espejo & Reyes, 2011; Maturana, 1988; Maturana & Varela, 1980; Mc Culloch, 2016). Los cuatro sistemas básicos de gestión o control del modelo de sistema viable fueron inspirados en hallazgos científicos a partir del estudio de la fisiología de los sistemas nervioso autónomo y central del ser humano (Maturana, 1988; Maturana & Varela, 1980; Mc Culloch, 2016).

³ Posibles estados y comportamientos reales o potenciales que una situación o problema puede contener (Pérez, 2010).

⁴ Capacidad de un organismo para sobrevivir independientemente a los cambios en su entorno, a partir de su autorregulación, aprendizaje, adaptación y evolución (Pérez, 2010).

⁵ Fundamentada en el principio que “solo la variedad puede destruir la variedad” un sistema que enfrenta permanentemente situaciones complejas, sobrevive si logra adoptar mecanismos que den respuesta a amenazas para contrarrestar las y oportunidades para aprovecharlas (Ashby, 1956b).

⁶ Teorema de Conant-Ashby. Afirma: “Todo buen regulador de un sistema debe ser un modelo de sistema”. En el contexto de la evaluación de las decisiones gerenciales, significa que la calidad de las decisiones está limitada por el tipo y la calidad de los modelos utilizados, los cuales deben contar con la variedad requerida para tratar con la situación que se presente (Conant & Ashby, 1970).

Las superficies que conforman un sistema viable son unidades esenciales, es decir el sistema tiene una identidad y la capacidad de existir independiente, viabilidad que implica no solo la capacidad de existir de forma autónoma dentro de su entorno, sino que adicionalmente es capaz de adaptarse y sobrevivir a pesar de la complejidad (Leonard, 2006), adaptación que depende del conocimiento del sistema sobre el medio ambiente y los recursos disponibles para su viabilidad (Leonard, 2009).

Para contribuir con su viabilidad, la principal característica del Modelo del Sistema Viable, es la recursividad, la cual define el valor de una función utilizando otros valores de la misma función (Cutland, 1980), de otra forma, sistemas anidados dentro de sistemas más completos permiten analizar de manera más dinámica y flexible el sistema, dando espacio a nuevas tendencias de las estructuras jerárquicas (Beer, 1984; Morales, 2005), en el cual las partes se anidan dentro del todo, como resultado del proceso se genera ahorro en análisis y comparaciones entre las actividades complejas que desarrollan los sistemas que lo conforman, tanto de forma vertical como horizontal (Leonard, 2009).

De este modo, el principio de recursión y autonomía contribuye con la gestión de la complejidad al distribuirla a lo largo del sistema, de manera que cada nivel recursivo opere cierta cantidad de complejidad (Devine, 2005).

Administrar la complejidad por parte de las organizaciones les permite ser viables a través del tiempo, complejidad que se deriva de la naturaleza propia de los sistemas sociales, y es representada por la variedad y dinámicas de los elementos que las conforman (Espejo, 2004).

La conectividad de las organizacional con el entorno donde están inmersas, e intercambian información y energía les permite desarrollar su capacidad de respuesta, la cual necesitará una mayor diferenciación y, por lo tanto, más complejidad (Espejo, 2004).

Debido a su capacidad para adaptarse a situaciones de alta complejidad (Espinosa & Walker, 2011c), con frecuencia los sistemas complejos no se comportan de manera predecible (Waring, 2010), ha permitido que el Modelo del Sistema viable sea ampliamente aplicado en diferentes sectores económicos, y actualmente por organizaciones ambientalistas (Espinosa & Walker, 2011c), como consecuencia de su practicidad para analizar, explorar e interpretar la complejidad (Hayne & Stewart, 1993), porque la cibernética organizacional concibe su tarea de gestión en términos de analizar y hacer frente a situaciones de alta turbulencia (Schwaninger, 2000), logrando observar el comportamiento de los subsistemas dentro de un sistema para analizar cualquier estructura organizacional de forma integral (Beer, 1995a, 1995b; Quin, 1993).

Reflejando la neurofisiología humana para determinar los criterios para que cualquier sistema vivo sea viable, el Modelo de Sistema Viable (Leonard, 2006), fue desarrollado originalmente para estructuras de control neurofisiológico en organismos superiores, pero adicionalmente Stafford descubrió un isomorfismo que le permitió identificar que el sistema de gestión de una organización al igual que el sistema nervioso de organismos humanos, exhiben en un sentido bien definido patrones estructurales básicos idénticos (Schwaninger, 2000).

El marco conceptual del Modelo de Sistema Viable, integra las características necesarias siguientes de modo que el sistema esté en capacidad de adaptarse a la complejidad del entorno:

- El sistema se regula a través de mecanismos de retroalimentación que actúan sobre los subsistemas operativos (Ashby, 1956b; Wiener, 1961)
- Ser evolutivo, abierto, capaz de adaptarse a los cambios del entorno y corregir el comportamiento que amenacen su viabilidad a largo plazo (von Bertalanffy, 1950).
- Contar con la suficiente variedad para dar respuesta a oportunidades y amenazas que surgen del entorno (Ashby, 1956a).
- Gestionar la complejidad del sistema reconociendo la existencia de los diferentes niveles de la organización como una jerarquía anidada de subsistemas cuasi-independientes (Miller, 1978), estructuralmente acopladas, característica que producirá sostenibilidad (Espinoza et al., 2008).

El Modelo de Sistema Viable, en general enumera, define y modela los prerequisites estructurales y funcionales para la viabilidad de una organización (Espejo, Schuhmann, Schwaninger, & Bilello, 1996; Schwaninger, 2006), y suficientes condiciones de supervivencia para que cualquier sistema sea viable (Devine, 2005; Pérez, Sánchez, & Puche, 2008). El diagrama básico del modelo presentado por Espinoza & Walker (2011b), se da a conocer en la Figura 1, donde:

- M** representa el meta-sistema, conformado por cerebro y nervios cuya función es desarrollar la cadena lógica y controlar el balance entre los asuntos internos y externos del sistema para adaptarse a los cambios del entorno.
- O** simboliza los músculos y órganos, subsistemas básicos del sistema y representa las actividades primarias.
- E** representa la interacción del sistema con el entorno, es decir partes externas que son de especial relevancia para la organización, e incluye situaciones de incertidumbre.

La estructura general del modelo se presenta en la Figura 1:

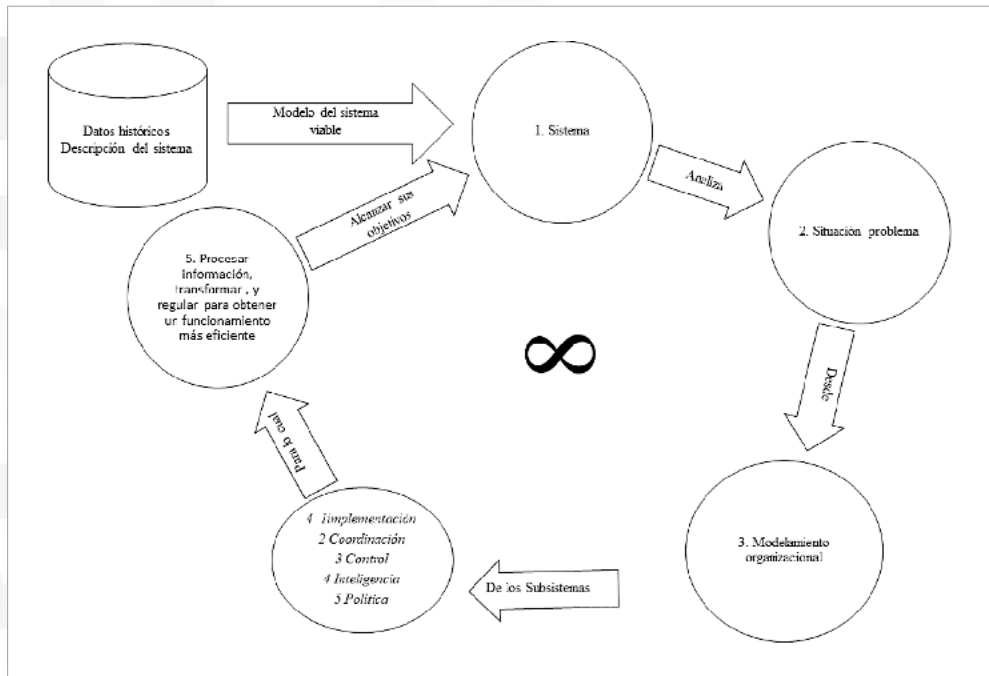


Figura 1 Diagrama básico Modelo del Sistema Viable.

Fuente: Adaptado a partir de Espinosa & Walker (2011c).

Según Schwaninger (2000), el Modelo del sistema viable es conformado por un conjunto de proposiciones de gestión específica descritas por Beer como condiciones suficientes y necesarias para respaldar la viabilidad de cualquier sistema humano o social, las cuales se resumen a continuación:

Deficiencia del sistema, cualquier definición defectuosa o problemas de comunicaciones entre las diferentes funciones, perjudicará y pondrá en peligro la viabilidad de la organización.

Autonomía y cohesión, un sistema dependen de su capacidad de recursividad entre las diferentes funciones a nivel general de la organización, siendo esencialmente su cohesión autónoma y estructuralmente acoplada en cada nivel recursivo la que produce sostenibilidad.

Viabilidad del sistema: un sistema es viable si y sólo si dispone de un conjunto de funciones específicas que conforman un modelo, las cuales se encuentran claramente interrelacionadas, identificadas y formalizadas en él.

Subsistemas del Modelo Sistema Viable

La viabilidad del sistema se sustenta en la forma como interactúan sus partes a fin alcanzar sus objetivos dentro de un turbulento entorno, conformado por cinco subsistemas descritos de forma general a continuación:

Función de implementación (S1): está conformado de varias operaciones primarias, que son el quehacer de la organización, siendo en sí mismas un sistema viable, son así denominadas porque son la esencia y razón de ser del sistema dándole sentido e identidad, y están acompañadas de actividades de apoyo no autónomas para su regulación.

Función de coordinación (S2): La operación (S1), busca facilitar la interacción con actividades primarias de igual nivel recursivo, desde las metas y objetivos propios de cada sistema (que en sí mismos son sistemas viables). Dado que son inevitables los conflictos de interés, ya que cada S1 tiene su propio quehacer, la función del sistema (S2) es asegurar que existen maneras de disminuir los conflictos a través de la información y la comunicación en la coordinación de las actividades.

Función control (S3): denominada “adentro y ahora” (Beer, 1995a): Consolidadas las interacciones de S1, es fundamental optimizarlas, siendo esta la función principal de S3, para ello proporciona la sinergia y asegura que el rendimiento resultante de todo el sistema sea mucho más eficiente, que cuando los subsistemas trabajan de forma aislada, de forma que se respeta y habilita la autonomía de las actividades primarias del sistema. Una aproximación de su funcionamiento se presenta en la Figura 2.

Función de inteligencia (S4): Su objetivo es tratar con el futuro, especialmente a largo plazo, y con el medio ambiente en general, el diagnóstico y el modelado de la organización en su entorno (desarrollo empresarial, estrategias, investigaciones, y gestión del conocimiento), planificación anticipada, prospectiva y desarrollo futuro.

Función de política (S5): la búsqueda del equilibrio entre presente y futuro es su objetivo principal, para lo cual define el propósito del sistema, establece direcciones y ejerce la administración general y la implementación de políticas. Una aproximación de su funcionamiento se presenta en la Figura 3.

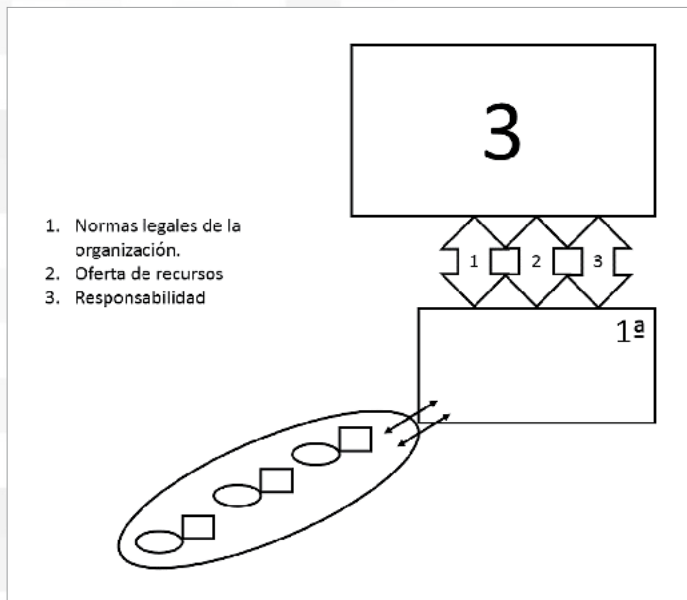


Figura 2 Diagrama básico sistema tres.

Fuente: Adaptado de Espinosa & Walker (2011c).

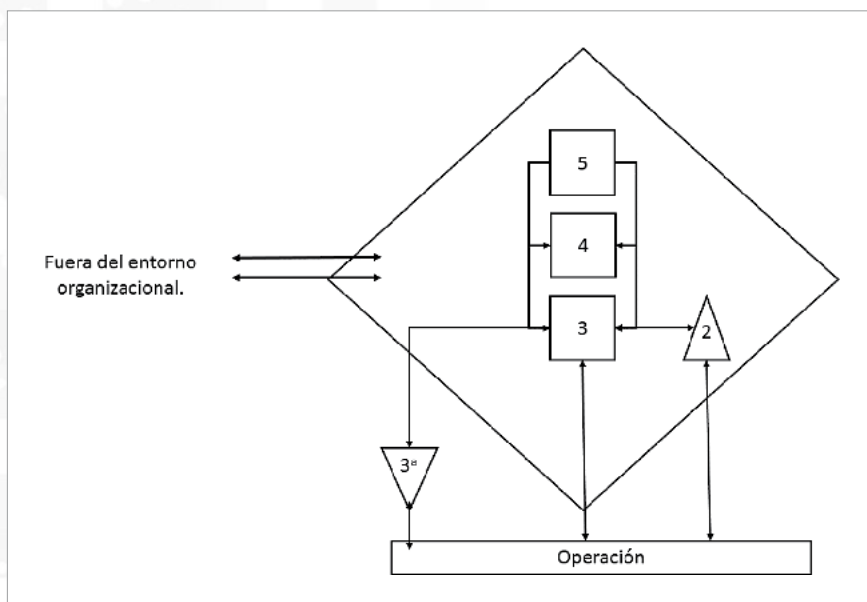


Figura 3 Diagrama básico sistema 5.

Fuente: Adaptado de Espinosa & Walker (2011).

En esta estructura, las unidades primarias (unidades básicas con capacidad reguladora suministrada por el subsistema 1) deben disponer de una gran autonomía para poder adaptarse al medio ambiente. Las actividades combinadas de los subsistemas 1, 2 y 3 contribuyen con la gestión presente y de corto plazo.

El subsistema 4 es el punto de apoyo para la adaptación a largo plazo. La forma de realización, los principios y valores básicos que rigen la orientación de la organización como un todo, y que le dan su carácter distintivo son función del subsistema 5 (Espinosa & Walker, 2011c).

METODOLOGÍA

A partir de los conceptos anteriormente expuestos, se realizará un análisis al proceso de extracción del fruto de palma de aceite, vista como una unidad. El proceso metodológico se presenta en la Figura 4.

La viabilidad y complejidad del área de extracción estudiada se exploró a partir de los lineamientos del modelo del sistema viable, el cual evalúa el funcionamiento del sistema a partir de cinco subsistemas que interactúan en el modelo de Beer (ver tabla 1).

Tabla 1 Metodología de análisis desde MSV para la cadena productiva del aceite de palma.

Descripción de la cadena productiva
Selección del macro sector
Selección del sistema foco del sistema
Los cinco sistemas de la cadena productiva

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de la cadena de productiva del aceite de palma

Originario de un subsistema de agronegocio⁷, la cadena de productiva del aceite de palma funciona como un sistema complejo que interactúa con otros agentes económicos, presentando entradas y salidas de materiales, dinero e información, desde o hacia las diferentes partes del sistema.

⁷ Agronegocio :sistemas de negocios integrados que incluye todas las actividades dentro y fuera de la unidad de producción, requeridas para lograr abastecer sostenible y competitivamente a la población con alimentos, fibras y combustibles de origen agrícola (Rodríguez, 2010).

La cadena productiva⁸ de la palma aceitera está conformada por tres eslabones como lo ilustra la Figura 5: el primario (cultivadores y beneficiadores del fruto), el secundario o industrial (fabricantes de aceites, grasas, cosméticos y biocombustibles), y el terciario o de comercialización y consumo (exportadores, distribuidores, comercializadores, grandes superficies) conformando la cadena total. (Ministerio de Agricultura, 2016).

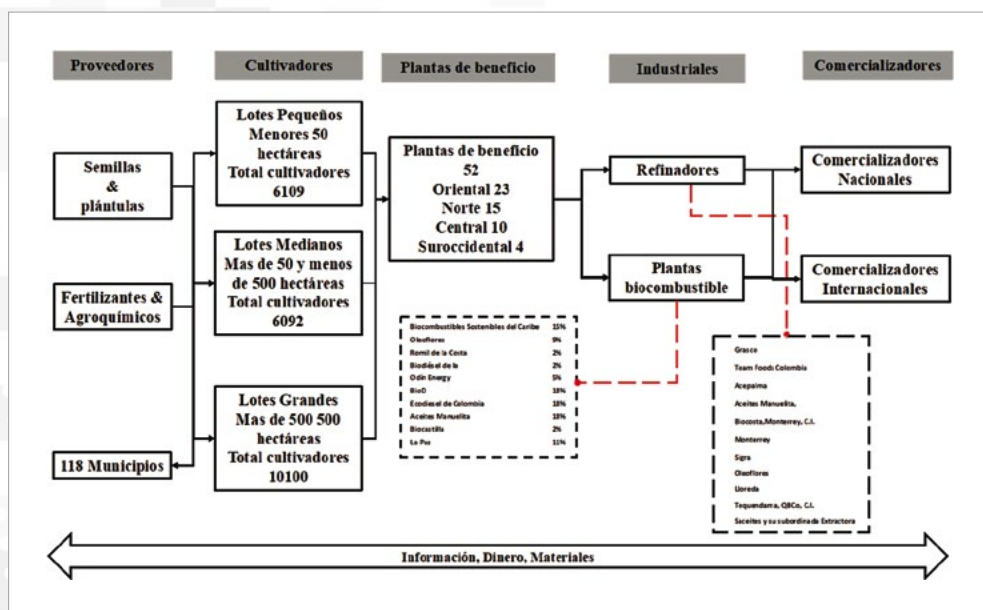


Figura 4 Cadena productiva palma de aceite.

Fuente: Fedepalma, (2019a).

Selección del macro sector

Los agentes relevantes de la agroindustria de la palma de aceite, así como sus principales funciones se ilustran a través de la Figura 5.

El proceso de gobernanza en la agroindustria de la palma de aceite está orientado a la solución de problemas y necesidades del sector, asuntos analizados en diferentes

⁸ “Conjunto de empresas que conforman una línea partiendo de actividades como la obtención o explotación de materia prima hasta la comercialización de bienes finales. De esta manera, la cadena está conformada por distintos eslabones o conjuntos de empresas que constituyen una etapa productiva dentro de ésta. Se caracteriza por ser secuencial, involucrar a dos o más sectores productivos y económicos, la interdependencia, el aporte de todos los eslabones y los beneficios equitativos según los recursos que tiene cada actor” (ONU, 2004) Industria y Turismo y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU).

instancias de carácter técnico y estratégico, proceso que concluye con la aprobación o rechazo del Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, (Fedepalma & Fondo de Fomento Palmero, 2015).

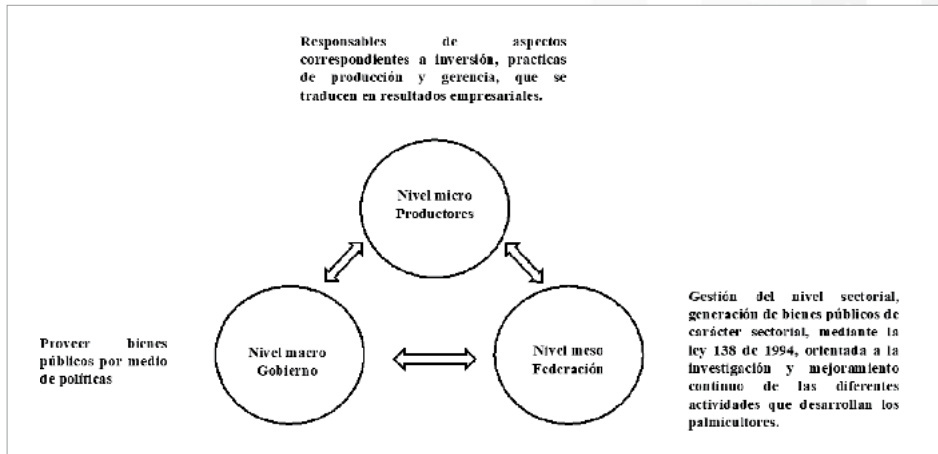


Figura 5 Agentes agroindustria de la palma de aceite.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Fedepalma & Fondo de Fomento Palmero (2015).

Para seleccionar el sistema foco desde los lineamientos del modelo del sistema viable, se recopiló información secundaria del sector, con el objeto de identificar los diferentes agentes que interactúan en la agroindustria, procesos que se da a conocer en la Figura 6, en primera instancia y en aras de identificar el segmento a estudiar, se tomó como punto de partida el gobierno nacional, al considerarse como agente rector dado que de allí emanan políticas y estrategias de carácter macro que contribuyen con el sector objeto de estudio. Es importante resaltar que este primer análisis realizado permitió identificar de forma general los agentes principales que interactúan en el sector agrícola en estudio.

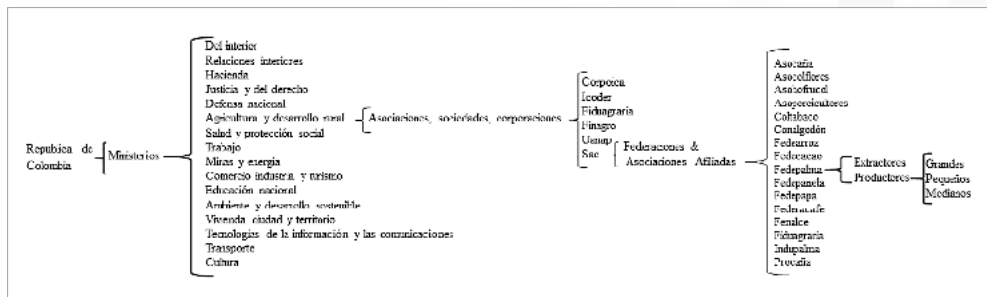


Figura 6 Macro sector agro-cadena de productiva del aceite de palma.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información secundaria (Fedepalma, 2011; Presidencia de la República Colombia, 2018; SAC, 2013).

Selección sistema foco del modelo

Una vez recopilada la información del macro sector agro-cadena de la palma de aceite, se procedió a realizar los diferentes análisis a fin de identificar el sistema foco de estudio. El resultado de este proceso dio origen a la selección de tres subsistemas principales: a) Fedepalma, b) cultivadores (grandes, medianos y pequeños), y c) planta de beneficio de fruto de palma. El resultado del proceso se representa en la Figura 7.

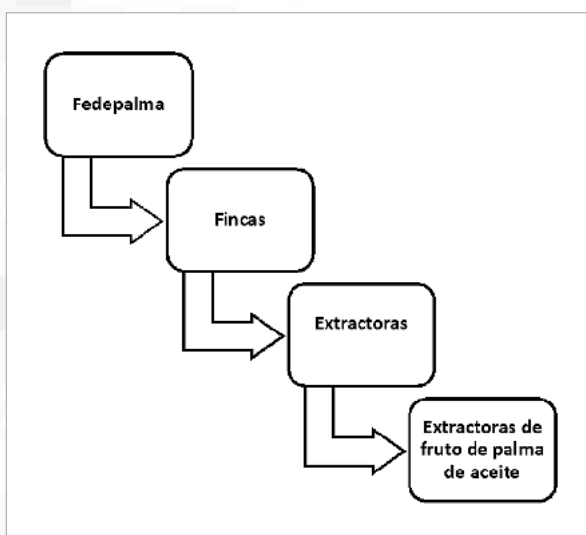


Figura 7 Sistema foco.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Fedepalma (2015a).

A continuación, se realizará una breve descripción de los diferentes agentes que conforman el denominado sistema foco del modelo:

Fedepalma: Organización gremial de derecho privado, sin ánimo de lucro, que agrupa y defiende los intereses de los cultivadores y beneficiadores del fruto de palma de aceite en Colombia, conformada por pequeños, medianos y grandes cultivadores de palma de aceite y extractores, quienes operan a escala empresarial asociativa incluyendo alianzas estratégicas. Brinda oportunidades de interacción gremial, información económica y comercial actualizada, gestión ambiental y social, promoción de proyectos de valor agregado, fomento de la asistencia técnica para sus afiliados, dueños de las empresas, sus funcionarios y empleados. Aparte de trabajar por la competitividad y sostenibilidad del sector palmero nacional, promueve el desarrollo económico y social en las zonas de influencia y promociona la imagen del sector (Fedepalma, 2019b).

Cultivadores: Agrupados en fincas y definida por Fedepalma “como una extensión de terreno sembrado con palma de aceite, compuesto por uno o varios terreno colindantes o cercanos, dentro de una misma sub - zona palmera, bajo la misma dirección técnica, que son propiedad a bajo otra forma de tenencia, de una misma persona jurídica o natural o de alguno de los miembros del hogar de esta última” (Fedepalma, 2011). Las cuales se clasifican en grandes (capacidad para cultivar más de 500 hectáreas), medianas (capacidad para cultivar entre 51 y 500 hectáreas), y pequeñas (capacidad para cultivar hasta 50 hectáreas).

A partir del censo nacional de palma de aceite Colombia 2011 (último realizado), se establece que a 2011, existían en Colombia 5314 fincas dedicadas al cultivo de palma de aceite, de las cuales 4396 fincas contaban con una extensión entre 1 y 50 hectáreas que correspondían al 83%, 761 fincas entre 51 y 500 hectáreas que correspondían al 14% y 157 fincas entre 501 y más hectáreas que correspondían al 3% de la población total. Ver Tabla 2.

Tabla 2 Área sembrada según tamaño de cultivo.

Rango de tamaño en hectáreas		Número de fincas	Participación	Total, fincas	Porcentaje
0	5	662	12,46%		
6	20	3104	58,41%		
21	50	630	11,86%	4396	83%
51	200	573	10,78%		
201	500	188	3,54%	761	14%
501	1000	77	1,45%		
1001	2000	51	0,96%		
2001	y más...	29	0,55%	157	3%
		5314	100%	5314	100%

Fuente: Elaboración propia. a partir de Fedepalma (2015a).

La alta especificidad de los activos que se involucran en el proceso de extracción del aceite de palma, lo cual significa que existen pocas oportunidades de utilizar este activo para otro fin que no sea el previsto inicialmente (Williamson, 1989), será el sistema foco del modelo representado en la Figura 8, debido a que en Colombia existen 52 extractoras de fruto de palma de aceite (29 extractoras no cuentan con extractor de aceite de palmiste)(Fedepalma, 2015a).

Planta de beneficio de fruto de palma: organización conformada por instalaciones, maquinaria, equipos para el beneficio del fruto del aceite de palma; que comprende la extracción del aceite de palma crudo y la recuperación de las almendras. También

puede abarcar el proceso de las almendras para extracción del aceite y torta de palmiste (Fedepalma, 2011). Ver Tabla 3.

Tabla 3 Plantas de beneficio en Colombia.

Zona	Plantas	Extracción de aceite de palmiste
Oriental	23	7
Norte	15	11
Central	10	5
Suroccidental	4	0
Total	52	23

Fuente: Elaboración propia. a partir de Fedepalma (2015a).

Los cinco sistemas

A partir de la información secundaria, se presentan los cinco sistemas que conforman el modelo de sistemas viables de la Cadena productiva del aceite de palma:

Sistema 1

En el caso específico de la cadena productiva del aceite de palma, y dado que el sistema foco son extractoras de fruto de palma de aceite, se dan a conocer las diferentes unidades operativas primarias para la extracción del aceite (Figura 8).

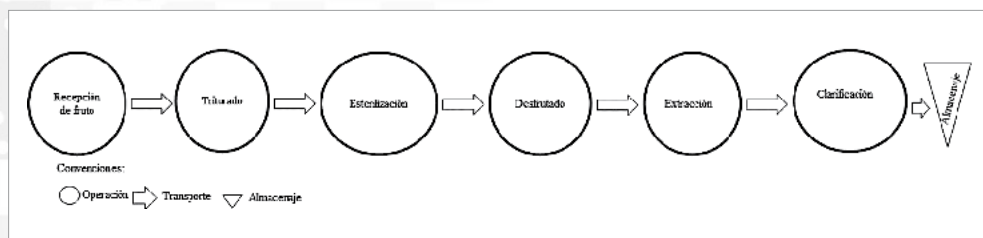


Figura 8 Proceso de extracción de aceite de palma

Fuente: Elaboración propia.

- *Recepción de los racimos de fruta fresca:* en las plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite es prioridad que el fruto ingrese en la fase de extracción en estado de correcta madurez para su procesamiento, siendo este un factor crítico para obtener la mayor cantidad de aceite de palma. Para tratar de minimizar el riesgo de pérdidas, se realiza un proceso de muestreo de racimos, cuyo origen puede ser en campo o en tolva de descarga de la planta de beneficio.

En campo, se debe establecer el tamaño del lote, así como el número de palmas a muestrear, lo cual dependerá del error en la precisión y el nivel de confiabi-

alidad requerido, adicionalmente es importante tener en cuenta el criterio de homogeneidad en la muestra, para lo cual se deberán tener en cuenta aspectos como la edad de las palmas, el fertilizante, tipo de suelo, sistema de riego, fertilización, entre otros (Sena, Sac, Fedepalma, & Cenipalma, 2012).

En planta de beneficio, se deben evaluar las siguientes características son la madures del fruto, el potencial de aceite, la longitud del pedúnculo, y el contenido de impurezas del fruto.

- *Triturado*: proceso de desintegrar la tusa del fruto de la palma de aceite a fin de convertir la materia sólida en trozos pequeños buscando la ruptura mínima de almendra (Sivasothy, Rohaya, Tan, Wong, & Ramani, 2004).
- *Esterilización*: proceso de sometimiento del fruto de palma de aceite elevadas temperaturas y presión de vapor saturado durante un periodo de tiempo, con el objeto de disminuir el incremento de acidez del aceite crudo obtenido, ablandar el mesocarpio del fruto y facilitar ruptura de las celdas que contienen el aceite para su extracción y desprender la almendra de la cascara para facilitar su recuperación (Sivasothy et al., 2004).
- *Desfrutado*: proceso realizado a partir de un desfrutador, conformado por un tambor giratorio, el cual realiza la recepción de los racimos esterilizados para separar la fruta de la tusa por medio del golpeteo. Los frutos sueltos continúan a la etapa de digestión y las tusas son utilizadas como abono en las plantaciones.
- *Extracción*: El fruto es transportado a prensas de tornillo, las cuales extraen el aceite. La presión aplicada debe extraer la mayor cantidad de aceite posible, evitando la rotura de nueces. El aceite extraído es conducido a la etapa de clarificación.
- *Clarificación*: fase de separación, donde por decantación se separa el aceite de lodos y agua gracias a la diferencia de densidades.
- *Almacenaje*: el aceite secado es almacenado en tanques de acero al carbón con calentamiento.
- *Relación con el entorno*: Las actividades primarias constituyen el sistema 1 se ven afectadas por el clima, la madurez de la fruta, el tiempo de almacenamiento antes de procesar la fruta, las buenas prácticas agrícolas, entre otras Figura 9.

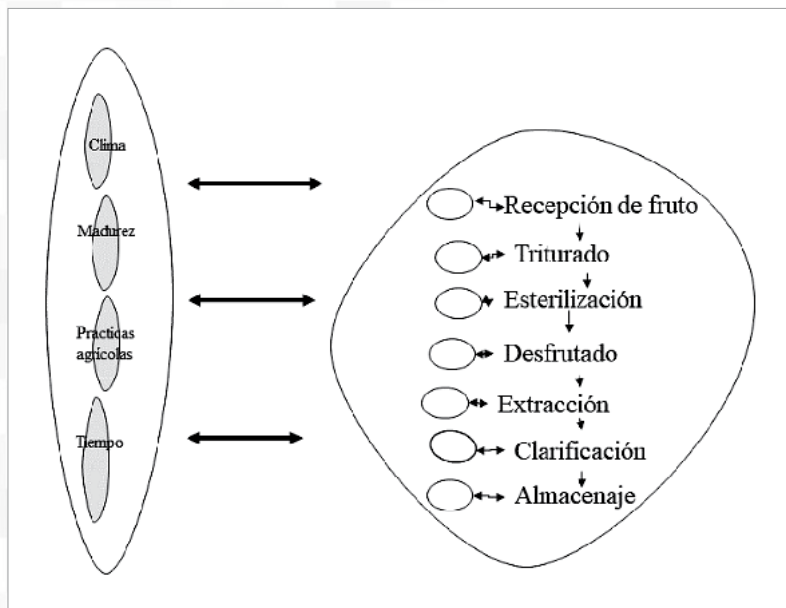


Figura 9 Relación sistema 1 con el entorno.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema 2

La función de coordinación con el propósito de lograr la eficiencia de la cadena productiva del aceite de palma debe evitar conflictos a fin mantener la estabilidad de los procesos a lo largo del sistema. En ese sentido en este sistema, se identifican un conjunto de variables relevantes que pueden perturbar su equilibrio, y que se deben sincronizar sus acciones:

- Estricta supervisión durante la cosecha (buenas prácticas agrícolas), acompañado de cuidados en el desarrollo de operaciones de manipulación y transporte del fruto contribuyen a obtener un producto libre de ácidos grasos (Southworth, 1979).
- Reducir lo máximo posible los tiempos comprendidos entre cosecha y procesamiento contribuye con la calidad del aceite (Southworth, 1979).
- Evitar durante las operaciones de recolección y transporte de fruto recoger arena, polvo y piedras, impurezas que pueden causar averías a la maquinaria y equipo (Southworth, 1979).
- Determinar el punto óptimo de cosecha, para lo cual se deberá determinar el momento en el cual el fruto contiene el máximo aceite de mejor calidad (Narváez, Chilito, & Bastidas, 1996).

- Establecer la frecuencia y duración de los ciclos de cosecha en concordancia con la edad de las palmas (Narváez et al., 1996).
- Correlacionar el grado de madurez a partir de indicadores visuales para la cosecha (Narváez et al., 1996).
- Sincronizar el tiro del ventilador de la mezcla de trituración en concordancia con el material procesado; ejemplo, el fruto de las áreas jóvenes tiene una proporción más alta de nuez/ palmiste pequeño y si el ventilador de mezcla no se encuentra bien ajustado, eliminara estos productos (Keith, 1991).
- Diseñar el sistema de esterilizado para minimizar pérdidas de vapor durante el proceso de cargue y descargue de fruto, lo cual requiere de aperturas de abastecimiento y desabastecimiento cortas, permitiendo así un flujo continuo e ininterrumpido de producto (Sivasothy et al., 2004).

En el proceso de desfrutado, el mayor problema es el porcentaje de pérdida de aceite impregnado en tusas causado por los siguientes fenómenos que se deben controlar: madurez, esterilización (tiempo prolongado de presión constante) excesiva, drenaje deficiente de condensados de esterilización; apilamiento excesivo de fruto en tolva desfrutadora; alimentación de tamaño incorrecto y presencia de frutos sueltos junto con los racimos esterilizados (Claver & Rodríguez, 2000).

Durante el proceso de extracción se pueden presentar pérdidas, asociadas a la eficiencia del este, las cuales se evalúan a partir de dos criterios: pérdidas en porcentaje del total de racimos de fruto fresco y porcentaje del total de aceite.

El primer análisis, denominado aceite contra racimos, compara la cantidad recibida en racimos frente al volumen de aceite obtenido y de esta forma establecer las pérdidas generales del proceso.

El segundo análisis y con el objetivo de establecer la eficiencia del proceso, busca determinar la cantidad de aceite perdido debido a desgaste de la maquinaria, aceite absorbido por el raquis durante el proceso de esterilización y desfrutado, residuos de aceite en prensa, o en aguas residuales, entre otros (Keith, 1991).

Clarificación, proceso de remoción de impurezas y humedad del aceite a fin dar cumplimiento con las especificaciones de calidad requeridas, que debe ser menor al 0,25%, lo que implica excelentes condiciones de operación del proceso y maquinaria (Ma, 1998).

Los sistemas de almacenamiento y manejo del aceite crudo de palma, antes de ser bombeados a los tanques de stock, deberán pasar por una trampa magnética para eliminar partículas de hierro. Posteriormente, se deberá bajar la temperatura a 45°C,

lo cual contribuye con la reducción de oxidación. Durante el almacenamiento, la temperatura de aceite se deberá mantener entre 35 y 40°C. Los tanques deben ser sometidos a rigurosos programas de aseo (Maycock, 1995).

Con el objeto de garantizar que las plantas extractoras de aceite de palma estén en capacidad de producir aceite de la más alta calidad las operaciones anteriormente mencionadas en planta se deben realizar de forma rigurosa. La relación entre los sistemas 1 y 2 se presenta por medio de la Figura 10.

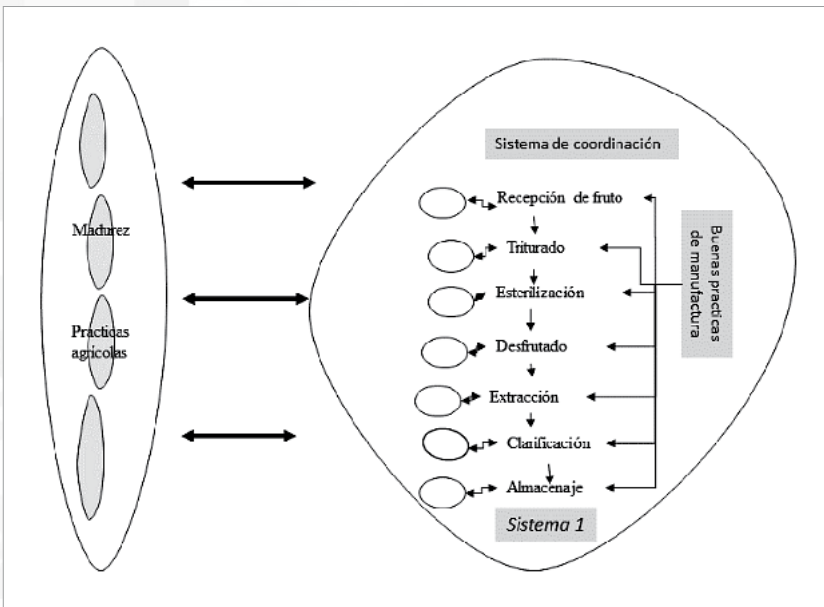


Figura 10 Relación entre sistemas 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema 3

Su función principal es realizar un control efectivo a lo largo de la cadena productiva del aceite de palma, para lograrlo es responsable de filtrar y contralar las transacciones internas realizadas por el sistema, representadas por medio de estructuras y controles concebidos para establecer recursos, reglas, derechos y responsabilidades.

Este sistema es responsable de garantizar el cumplimiento de las regulaciones existentes, como son el suministro del fruto de palma de aceite en el punto óptimo de cosecha, para ello deberá analizar los sistemas de almacenamiento y transporte antes de dar inicio al proceso de extracción para reducir los tiempos de espera y mejorar la calidad del aceite obtenido. Evitar la recolección del fruto con contenidos

altos de impurezas, sincronizar maquinaria a lo largo del proceso, así como almacenar el producto terminado de forma correcta.

Con el objetivo de mantener una vigilancia constante S3 hace uso del Sistema 3*, representado por la Figura 11, a fin de lograr cohesión y sinergia a través de un sistema de monitoreo constante de las operaciones de la cadena de suministro, para ello cuenta con subsistemas que regulan y controlan el cumplimiento de obligaciones.

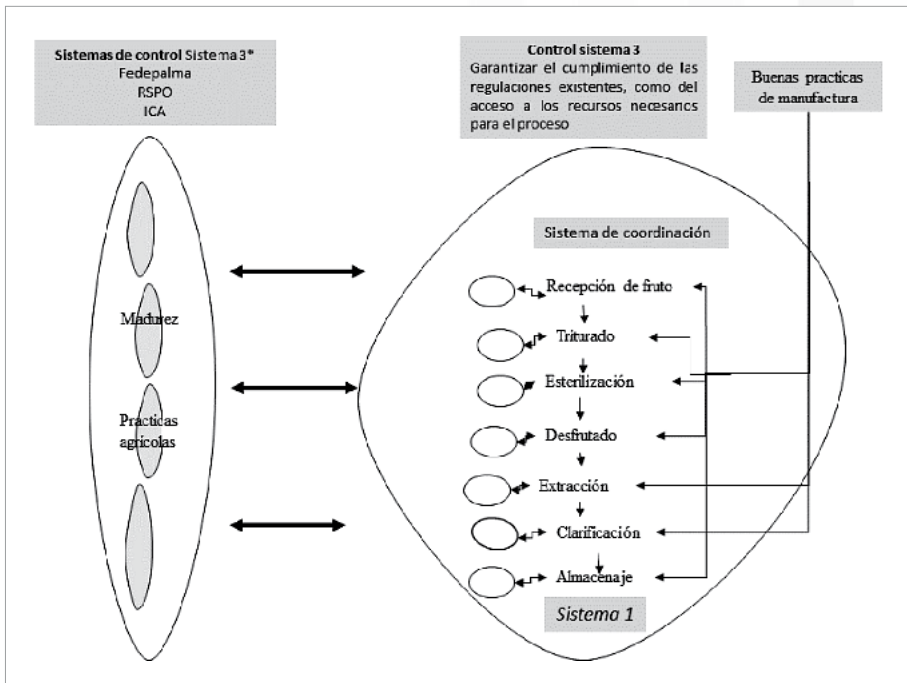


Figura 11 Relación entre los sistemas 3 y 3*.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema 4

Comprometido con el futuro largo plazo, el medio ambiente en general y a partir de los resultados obtenidos, el gremio deberá desarrollar actividades orientadas a blindar el sector y garantizar su perdurabilidad⁹ dentro de las cuales se destacan las amenazas y oportunidades descritas a continuación:

⁹ Una empresa perdurable es aquella que a través del tiempo presenta resultados financieros superiores. Adecúa su manejo a la intensidad de las condiciones del entorno sectorial y las fuerzas del mercado (Restrepo, Garzón, & Méndez, 2005)

Amenazas: los cultivos de palma de aceite son amenazados por enfermedades que afectan el cultivo, sobresaliendo la pudrición del cogollo, por su efecto directo sobre la producción y la rentabilidad del cultivo. El agente causal as por Cenipalma identificaron al patógeno (*Phytophthora palmivora* But), responsable permaneció anónimo por mucho tiempo, pero investigaciones recientes de liderad del proceso endémico (Cenipalma, 2009).

La marchitez letal de la palma de aceite es una de las enfermedades más limitantes del cultivo y aunque el patógeno se desconoce, se identificó el Haplaxius, como el insecto responsable de disgregar la enfermedad entre palmas sanas e infectadas al interior de las plantaciones (Arango, Ospina, & Martínez, 2012). La inseguridad y la violencia que se presenta en zonas aptas para el cultivo, son factores perjudiciales tanto para inversionista, como para la agroindustria (Aguilera, 2002; Ocampo, 2009).

En Colombia producir una tonelada de aceite de palma es más costo que en Malasia, Indonesia, Tailandia países líderes en el cultivo, aspecto que afecta la competitividad del producto nacional. Las causas principales se asocian a: costos de mantenimiento del cultivo, extracción de aceite y comercialización de los productos (DNP, 2007).

El cultivo de la palma de aceite es altamente dependiente de mano de obra comparado con otros cultivos de oleaginosas (Fontanilla et al., 2016), sin embargo, problemas de asociados a la escasez de mano de obra, que migran hacia otros sectores, hacen parte de las amenazas que afectan al sector (Gonfrier, 2018).

La infraestructura vial obstaculiza la articulación y la conectividad con los mercados, a lo que se suma los altos costos de logísticos, lo que afecta la competitividad del sector (DNP, 2007).

Oportunidades: según Oil World, se estima que las exportaciones mundiales de aceite de soya se incrementaran, lo cual podría generar turbulencia en los precios de los oleaginosos (Oil World Annual, 2017).

La palma de aceite es el cultivo más productivo de oleaginoso, con un promedio de 3,66 t/ha/año, superior al de la colza (con 0,6 t/ha/año), que ocupa el segundo lugar (Rafflegeau, 2013).

El desarrollo sostenible de la palma de aceite demanda el cumplimiento de las normas internacionales para su producción y del consentimiento libre, previo e informado de cualquier comunidad que se vea afectada por el proyecto (Rafflegeau, 2013).

Sistema 5

El propósito del sistema establece direcciones y ejerce la administración general y la implementación de políticas. El desarrollo de una cultura conjunta de trabajo entre agricultores y extractoras contribuya con el mejoramiento continuo del sistema en general.

Un enfoque holístico implicaría el compromiso de las partes interesadas con el sistema general y su cumplimiento de las regulaciones actuales. En consecuencia, se fortalecería el sistema de gestión y control (S3), facilitaría la reevaluación de las mediciones operativas actuales, apoyaría el establecimiento de un (S4) común y promovería el manejo de los desafíos actuales y la realización de mejoras sistémicas, como la implementación de un mejor sistema de control calidad en campo, sistemas de transporte más adecuados y arribo de la materia prima de forma más eficiente.

Funciones de los homeostatos en la cadena de valor del aceite de palma

Como consecuencia de lo anterior, el sistema viable de la cadena deberá desarrollar mecanismos para gestionar la complejidad de las interacciones internas y externas. A fin de adaptarse a los cambios permanentes en el entorno, el refuerzo, la innovación y el aprendizaje se convertirán en estrategias útiles para mantener la homeostasis¹⁰ en un entorno dinámico y complejo.

En el sistema viable, de la cadena de valor del aceite de palma, los homeostatos necesitan estar en capacidad de responder por anticipado a las turbulencias del entorno, la forma como se relacionan se presenta por medio de la Figura 12.

En este caso particular el objetivo del *homeostato A* es desarrollar sistemas de información eficientes con proveedores y clientes, para obtener un flujo de materiales, información y dinero eficiente, a lo largo de la cadena de productiva del aceite de palma.

Homeostato B: tendrá como objetivo mantener la estabilidad interna del sistema para ello deberá realizar procesos de mejoramiento continuo, sustentado en investigación y desarrollo de nuevos productos, a precios más competitivos en el mercado, al igual, realizar análisis permanente de relaciones costo-beneficio, en la búsqueda incremental sinérgica entre las diferentes unidades operativas (compra de materiales, sistemas de transporte, procesos de cultivo, transformación de aceite, comercialización, entre otros).

¹⁰ Sistema en estado de equilibrio (Beer, 1995b), la capacidad del sistema para mantener o preservar sus variables esenciales alrededor (Espinoza & Walker, 2011b)

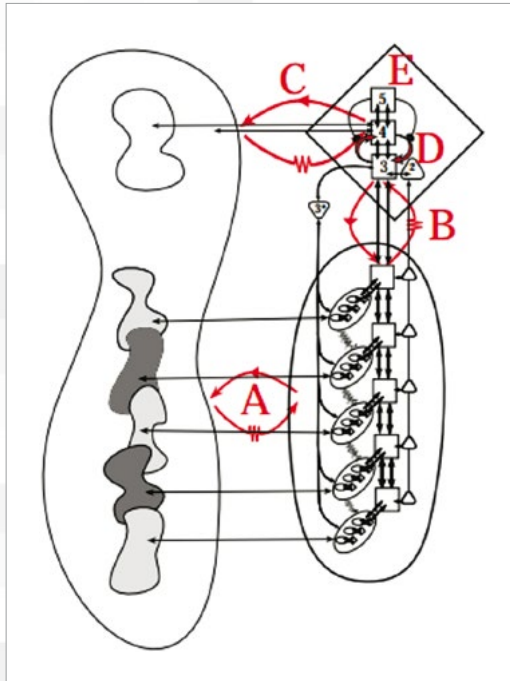


Figura 12 Mecanismos homeostáticos en el Modelo del Sistema Viable

Fuente: Tomado de Espinosa & Walker (2011).

A nivel operativo, los homeostatos A y B buscan al equilibrio de entre las operaciones realizadas por el sistema para obtener productos primarios provenientes del cultivo que den respuesta a las necesidades del mercado, y regular la relación existente entre oferta y demanda.

Homeostato C: tendrá como objetivo mantener un equilibrio entre las posibles alineaciones del entorno y la organización en el futuro, especialmente frente a políticas gubernamentales orientadas hacia la globalización del mercado, fenómeno que modifica de forma permanente las condiciones del sector económico, haciéndolo más competitivo y turbulento. Por tanto, es necesario desarrollar estrategias que contribuyan con la perdurabilidad de este importante renglón agrícola nacional.

Homeostato D: su propósito es identificar y promover ajustes a fin de mantener la autorregulación, es decir, distribuir el control, fortaleciendo el autocontrol de los agentes, para contribuir con el mejoramiento continuo de la cadena de valor, buscando la sostenibilidad del sistema, adicionalmente deberá mantener la estabilidad entre los criterios de (S4) externos (S3) internos, lo cual se logra al momento de decidir las auto transformaciones organizacionales. Finalmente, homeostato E supervisa homeostato D.

CONCLUSIONES

Comprender el funcionamiento de la cadena de valor del aceite de palma desde un enfoque holístico permite entender el rol de los diferentes agentes que interactúan al interior de este sistema, lo cual puede contribuir de forma importante con la reducción de tiempos, costos, y mejorar la calidad de los servicios asociados a la gestión logística, entre otros.

El análisis profundo de los diferentes subsistemas determina la viabilidad del sistema que se sustenta en la forma como interactúan sus partes a fin alcanzar sus objetivos dentro del entorno, donde los ajustes realizados en cada subsistema conducirán a incrementos de la eficiencia una vez que las partes interesadas tengan un enfoque más holístico de la operación.

Desarrollar estrategias mancomunadas con el estado para el desarrollo de la infraestructura vial, permitirá una mejor articulación y conectividad con los mercados, y reducirá los altos costos de logísticos, que afecta la competitividad del sector.

La necesidad de impulsar la competitividad desde el seno de las organizaciones es fundamental a fin consolidar logros ambientales, sociales y económicos para el sector, por tanto, se deberán desarrollar estrategias orientadas a la investigación en el manejo de enfermedades que afectan el cultivo, desarrollo de estrategias con el objetivo de disminuir la inseguridad y violencia que se presenta en zonas aptas para el cultivo, reducir los costos de mantenimiento, extracción de aceite y comercialización tanto de cultivo como de productos y subproductos provenientes del proceso de extracción.

Generar estrategias sociales asociados a la escasez de mano de obra, para reducir la migración de campesinos hacia otros sectores.

Comprender el funcionamiento de la cadena de valor del aceite de palma es importante, a fin generar modelos que permitan estimar la forma en la que se deben realizar ajustes y cambios para producir los resultados deseados que se enfoquen hacia la optimización en algunos de los frentes de estudio, como, por ejemplo: reducción de costos, aprovechamiento de ventajas competitivas, mejora en la gobernanza a partir del aprovechamiento de la cultura organizacional, entre otros.

El documento alienta nuevas aplicaciones de modelo del sistema viable en la cadena de valor del aceite de palma y en general en la agroindustria. El uso de enfoques sistémicos, como es el caso de esta aplicación que explora de la cadena agroindustrial.

Futuras investigaciones

Teóricamente, se ha demostrado que la integración de la cadena de valor genera ventajas estratégicas. Sin embargo, el campo no se evidenció investigaciones en Colombia, que contribuyan a cuantificar el impacto de la integración total, lo cual requiere de la vinculación de métricas rigurosas y aplicables a cadenas de suministro en el mundo real, proceso que se facilitara por medio del modelo de sistema viable.

Una serie de investigaciones en materia del modelo de sistema viable surgen a partir de este estudio, investigaciones que de realizarse contribuirán con el desarrollo de la nación y del agro-campo colombiano como, por ejemplo:

Realizar un análisis holístico de la cadena de valor del aceite de palma, para establecer la relación existente entre los diferentes eslabones que la conforman desde el proveedor de proveedor, hasta el cliente de mi cliente.

Desde el modelo del sistema viable, realizar caracterización de las diferentes cadenas de suministro a fin de comprender las interacciones entre agentes, a fin de comprender de forma holística su funcionamiento en la búsqueda de la eficiencia.

Dar respuesta a interrogantes tales ¿cómo que estrategias y políticas públicas, se deben diseñar con el objeto de mantener el equilibrio entre los diferentes agentes que intervienen en el sector?

TRABAJO EN AULA PROPUESTO

- 1) Discuta que significa cibernética como se aplica a la gestión de organizaciones
- 2) Considere una cadena agroindustrial de su interés desarrolle una caracterización de la cadena de valor a través de fuentes secundarias y establezca las ventajas y desventajas de este tipo de análisis.
- 3) ¿El uso del modelo le permitió comprender mejor el funcionamiento de la cadena agroindustrial? Justifique su respuesta.
- 4) Aplique el modelo viable al caso seleccionado. Discútalos en clase.
- 5) A partir de la metodología aplicada explique, ¿qué nuevos conocimientos adquirió para comprender la cadena agroindustrial seleccionada?

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. (2002). Palma africana en la costa caribe: un semillero de empresas solidarias. *Centro De Estudios Económicos Regionales*, (30).
- Arango, M., Ospina, C., & Martínez, G. (2012). Manejo de la Marchitez letal en palma de aceite en zonas de alta incidencia. *Palmas*, 32(4), 29-40.
- Ashby. (1956a). *An Introduction to Cybernetics*. New York: Wiley.
- Ashby, W. R. (1956b). *An introduction to cybernetics*. Boston: New York, J. Wiley.
- Atherton, A. (2003). The uncertainty of knowing: An analysis of the nature of knowledge in a small business context. *Human Relations*, 56(11), 1379-1398. <https://doi.org/1379-1398>: 041204
- Beer, S. (1959). What Has Cybernetics to Do with Operational Research? or. <https://doi.org/10.2307/3007308>
- Beer, S. (1984). The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology. *Journal of the Operational Research Society*, 35(1), 7-25.
- Beer, S. (1995a). *Brain of the Firm* (2nd Editio). Wiley-Blackwell.
- Beer, S. (1995b). *Diagnosing the System for Organizations*. Wiley-Blackwell.
- Beer, S. (2002). What is cybernetics? *Kybernetes*, 31(2), 209-219. <https://doi.org/10.1108/03684920210417283>
- Bourgeois, L. (1985). Strategic goals, perceived uncertainty, and economic performance in volatile environments. *Academy of Management Journal*, 28(3), 548-573.
- Cenipalma. (2009). Manejo integrado de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite, 1-24. Recuperado de www.cenipalma.org
- Claver, F., & Rodríguez, D. (2000). Separación de frutos sueltos antes del desfrutado. *Revista Palmas*, 21(Especial).
- Conant, R. C., & Ashby, W. R. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1(2), 89-97.
- Cutland, N. (1980). *Computability: An Introduction to Recursive Function Theory* (Primera). Cambridge University Press.
- Devine, S. (2005). The viable systems model applied to a national system of innovation to inform policy development. *Systemic Practice and Action Research*, 18(5), 491-517. <https://doi.org/10.1007/s10979-005-8485-y>

- DNP. (2007). Documento Conpes 3477. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Espejo, R. (2004). The footprint of complexity: the embodiment of social systems. *Kybernetes*, 33(3/4), 671-700. <https://doi.org/10.1108/03684920410523643>
- Espejo, R., & Harnden, R. (1989). *The Viable System Model: Interpretations and Applications of Stafford Beer's VSM*. (J. Wiley, Ed.). New York.
- Espejo, R., & Reyes, A. (2011). *Organizational Systems: Managing Complexity with the Viable System Model*. Springer Science & Business Media.
- Espejo, R., Schuhmann, W., Schwaninger, M., & Bilello, U. (1996). *Organizational Transformation and Learning: A Cybernetic Approach to Management*. Wiley.
- Espinosa, A., Harnden, R., & Walker, J. (2008). A complexity approach to sustainability - Stafford Beer revisited. *European Journal of Operational Research*, 187(2), 636-651. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.03.023>
- Espinosa, A., & Walker, J. (2011a). *A Complexity Approach to Sustainability: Theory and Application*. London: Imperial College Press.
- Espinosa, A., & Walker, J. (2011b). *A Complexity Approach to Sustainability*. London: Imperial College Press.
- Espinosa, & Walker. (2011c). *A Complexity Approach to Sustainability: Theory and Application*. London: Imperial College Press.
- Fedepalma. (2011). *Censo Nacional de Palma de Aceite Colombia 2011*. Bogotá: Panamericana formas e impresos s.a.
- Fedepalma. (2019a). Anuario Estadístico. *Anuario Estadístico*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fedepalma. (2019b). Fedepalma. Recuperado 10 de octubre de 2015, de <http://web.fedepalma.org/registro-y-afiliacion>
- Fedepalma, & Fondo de Fomento Palmero. (2015). Propuesta de Lineamientos para orientar la Inversión de los recursos del Fondo Fomento Palmero. Restrepo.
- Fontanilla, C., Rincón, V., Mesa, E., Mariño, D., Barrera, E., & Montoya, M. (2016). Estimación del rendimiento de la mano de obra en labores de cultivo de palma de aceite: caso polinización asistida. *Revista Palmas*, 37(2), 21-35. [https://doi.org/ISSN 01212923](https://doi.org/ISSN%201212923)
- Gaitán. (2001). *Sistemas integrados de información para producción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gonfrier, P. Prestige Colombia (2018).

- Hayne, M., & Stewart, N. (1993). A Workshop Methodology Based on the “Viable System Model” Of Stafford Beer. En H. J. G. In: Stowell F.A., West D. (Ed.), *Systems Science* (pp. 201-211).
- Hoffmeyer, J. (2008). Surfaces Inside Surfaces On the Origin of Agency and Life. *Cybernetics*, 5(1), 1-9.
- keith, H. (1991). Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. *Revista Palmas*, 12(especial), 74-101. Recuperado de <http://publicaciones.fede-palma.org/index.php/palmas/article/view/310>
- Leonard, A. (2006). A comparison of the Viable System Model and Seven Models of Risk with the effects of the Sarbanes-Oxley legislation. *Journal of Organisational Transformation & Social Change*, 3(1), 85-93. <https://doi.org/10.1386/jots.3.1.85/1>
- Leonard, A. (2009). The viable system model and its application to complex organizations. *Systemic Practice and Action Research*, 22(4), 223-233. <https://doi.org/10.1007/s11213-009-9126-z>
- Lewis, G. J. (1997). A cybernetic view of environmental management: the implications for business organizations. *Business strategy and the environment*, 6, 264-275.
- Ma, A.-N. (1998). La planta extractora de aceite de palma. Control del proceso*. *Revista Palmas*, 19(Especial).
- Maturana. (1988). Ontology of observing: The biological foundations of self-consciousness and the physical domain of existence. *Conference proceedings of the American Society of Cybernetics*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Maturana, & Varela. (1980). *Autopoiesis and Cognition The Realization of the Living*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-8947-4>
- Maycock, J. M. (1995). Manejo de la calidad del aceite de palma en las plantas extractoras de Malasia. *Revista palmas*, 16(1), 47-51.
- Mc Culloch, W. (2016). *Embodiments of Mind*. Cambridge, Massachusetts, Massachusetts: Mit Press.
- Miller, J. (1978). *Living Systems*. Mc Graw Hill.
- Ministerio de Agricultura. (2016). Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas. Recuperado de <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-palma/?ide=15>
- Morales, C. (2005). *Evalúe la gestión de su empresa: más allá de la estrategia y de los indicadores*. Bogotá D.C.: Panamericana Editorial.

- Morgan, G. (2006). *Images of Organization*. Toronto: Sage Publications.
- Narváez, J., Chilito, L., & Bastidas, S. (1996). Determinación de la madurez óptima de cosecha para la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la región de Tumaco, Nariño 1. *Palmas*, 17(4), 15-22.
- Novikov. (2015). *CYBERNETICS: From Past to Future*. Heidelberg: Springer.
- Ocampo, S. (2009). Agroindustria y conflicto armado El caso de la palma de aceite. *Colombia Internacional*, 70(2009), 169-190. Recuperado de <http://colombiainternacional.uniandes.edu.co/view.php/487/view.php%5Cn>
- Oil World Annual. (2017). *Oil World Annual*.
- ONUDI. (2004). *Manual de minicadenas productivas. Onudi*. Bogotá: Litocamargo.
- Pérez, J. (2010). Models of organizational cybernetics for diagnosis and design. *Kybernetes*, 39(9), 1529-1550. <https://doi.org/10.1108/03684921011081150>
- Pérez, J., Sánchez, P., & Puche, J. (2008). Sistemas de Información y Cibernética Organizacional. *XII Congreso de Ingeniería de Organización: Burgos, 3-5 de septiembre de 2008*, 417-428. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo;sessionid=CD1BCC91AB205062D2598F3569D5DC76.dialnet02?codigo=3954027>
- Presidencia de la república Colombia. (2018). Presidencia de la república. Recuperado de <http://wp.presidencia.gov.co/Paginas/Presidencia.aspx>
- Quin, A. (1993). Cybernetics in Management. En *Systems Science* (pp. 199-204). Boston: Springer. https://doi.org/org.ez.urosario.edu.co/10.1007/978-1-4615-2862-3_35
- Rafflegeau, S. (2013). Desarrollo de la palma de aceite: riesgos y oportunidades con base en las lecciones aprendidas de Camerún e Indonesia, 34, 351-370.
- Restrepo, A., Garzón, L., & Méndez, C. (2005). Protocolo de investigación, Grupo de Perdurabilidad Empresarial. *Facultad de Administración, Universidad del Rosario*.
- Rodríguez, D. (2010). *Desarrollo de los agronegocios y la agroindustria rural en América Latina y el Caribe*.
- SAC. (2013). Sociedad de Agricultores de Colombia SAC. Recuperado de <http://www.sac.org.co/es/noticias/367-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuaria-2013-2014.html?highlight=WyJwYXtYSIsImRlIiwYWNlaXRlliwicGFsbWEgZGUlLCJwYXtYSBkZSBhY2VpdGUlLCJkZSBhY2VpdGUlXQ==>
- Sassenrath, G. F., Heilman, P., Luschei, E., Bennett, G. L., Fitzgerald, G., Klesius, P., . . . , & Zimba, P. V. (2008). Technology, complexity and change in agricultural produc-

- tion systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(4), 285-295. <https://doi.org/http://dx.doi.org.ez.urosario.edu.co/10.1017/S174217050700213X>
- Schwaninger, M. (2000). Managing Complexity--The Path Toward Intelligent Organizations. *Systemic Practice and Action Research*, 13(2), 207-241. <https://doi.org/10.1023/A:1009546721353>
- Schwaninger, M. (2006). Theories of viability: A comparison. *Systems Research and Behavioral Science*, 23(3), 337-347. <https://doi.org/10.1002/sres.731>
- Sena, Sac, Fedepalma, & Cenipalma. (2012). Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de palma de aceite. En *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Guía para facilitadores*. (p. 156). Bogotá: Sena.
- Sengel, P. (1992). *La quinta disciplina*. Buenos Aires: Granica.
- Shrivastava, P., & Hart, S. (1992). Greening Organizations. *Academy of Management*, 17, 185-189. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.1992.17515480>
- Sivasothy, Rohaya, H., Tan, H., Wong, W., & Ramani. (2004). Esterilización continua de racimos de fruta fresca de palma de aceite. *Palmas*, 25(Especial), 83-89.
- Southworth, R. (1979). Factores Del Campo Que Afectan La Calidad. *Palmas*.
- Sterman, J. D. (2000). *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Management. McGraw-Hil. <https://doi.org/10.1108/13673270210417646>
- Tang, Z. (2009). The application of the dimensionality perspective in organization study. *Emergence: Complexity and Organization*, 11(1), 58-68.
- Vallée, R. (2000). About cybernetics, its roots and future. *Kybernetes*, 29(5/6), 573-575. <https://doi.org/10.1108/03684920010333053>
- von Bertalanffy, L. (1950). The Theory of Open Systems in Physics and Biology. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.111.2872.23>
- Waring, A. (2010). *Practical Systems Thinking*. Thomson Learning.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Williamson, O. (1989). Transaction cost economics. *Handbook of Industrial Organization*, 1, 135-192. [https://doi.org/10.1016/S1573-448X\(89\)01006-X](https://doi.org/10.1016/S1573-448X(89)01006-X)

GLOSARIO

- *Modelo del sistema viable*: conjunto de proposiciones de gestión específica descritas por Beer como condiciones suficientes y necesarias para respaldar la viabilidad de cualquier sistema humano o social.
- *Sistema*: un objeto complejo conformado por diferentes partes o componentes que interactúan entre sí.
- *Situación problema*: actividades que se encuentran por fuera del comportamiento normal del sistema
- *Modelamiento organizacional*: forma como se distribuyen los subsistemas departamentos, actividades, recurso humano dentro de una organización.
- *Subsistemas*: conjunto de componentes e interrelaciones que se encuentran estructural y funcionalmente, dentro de un sistema más amplio.
- *Procesamiento de información, transformar*: actividades que se realizan una vez recopilada la información para lograr interpretarla y generar estrategias orientadas a trasmutar el sistema.
- *Datos históricos*: recopilación de información de carácter cuantitativo o cualitativo que se han presentado a lo largo de la historia del sistema y sirve como punto de partida para realizar análisis.
- *Descripción del sistema*: proceso de caracterización del sistema, a fin de establecer la forma con interactúan los componentes que lo conforman.

Análisis de la aplicación del algoritmo genético para la solución del problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada de dos eslabones.

Enfoque de investigación cuantitativo

Leila Nayibe Ramírez¹¹

¹¹ Candidata a Doctorado en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Docente Jornada Completa Universidad Libre.



INTRODUCCIÓN

El problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada en una cadena de suministro de tres eslabones conocidos en inglés como Three-echelon Uncapacitated Facility Location Problem (TULFP), define el flujo de producto a través de la cadena desde las plantas de manufactura hacia los centros de distribución, los cuáles deben ser localizados. Al resolver el problema también se enfrenta a decisiones como la cantidad de productos a enviar, a que centros de distribución o mercados, y que plantas deben producirlos. El modelo de optimización permite generalizar el problema para múltiples productos, en la literatura ha sido considerado como un NP-Completeness que significa la dificultad de encontrar soluciones al problema de decisión, ante esta dificultad los investigadores han propuesto metaheurísticas para su solución como GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) (Montoya Torres, Aponte, & Rosas, 2010).

La meta heurística GRASP, propuesta por Feo y Resende (1985,1995), es un método de inicio múltiple para resolver problemas combinatorios en los que cada iteración consta de dos fases una de construcción y búsqueda local. En la fase de construcción se construye la solución factible, donde el objetivo es el mínimo local de la función. Después se evalúa la selección de soluciones y la mejor solución global se mantiene como resultado de la búsqueda local (Feo & Resende, 1989; Feo & Resende, 1995). Al considerarse una técnica exitosa para la solución de problemas, se adaptó para el problema TULFP, donde los resultados experimentales demostraron que el procedimiento funciona bien incluso para encontrar la solución óptima en menos tiempo

que los métodos exactos para instancias pequeñas, pero instancias de mayor tamaño el desempeño no fue similar, sin embargo, mantiene la calidad de la solución (Montoya Torres, Aponte, & Rosas, 2010). A pesar del éxito obtenido con GRASP, el capítulo de libro pretende explorar nuevos métodos de solución propuestos en la literatura como los Algoritmos Genéticos para estimar las ventajas y desventajas de su implementación utilizando las instancias descritas en otras investigaciones.

A nivel general, el problema se define de la siguiente forma. Una empresa puede fabricar relativamente pocos productos en un cierto número de plantas de producción. Los productos son despachados desde las plantas hacia centros de distribución y de ellos hacia los puntos de consumo (mercados) (Montoya Torres, Aponte, & Rosas, 2010).

El problema de ubicación de instalaciones con capacidad limitada ha sido solucionado desde diferentes metaheurísticas como búsqueda voraz adaptativo probabilista (GRASP), algoritmos híbridos, entre otros, como se explicó en la introducción de este capítulo.

El objetivo de este trabajo trata particularmente de obtener la solución del problema a través del Algoritmo Genético (GA), inicialmente resuelve de una forma sencilla el problema de asignación de Centros de Distribución, determinando la apertura de los Centros, de allí se determina el flujo de producto que pasa por cada uno de ellos. Evaluando la función objetivo y las restricciones. Para la implementación, se genera una población inicial previamente definida en el algoritmo y con base en esta población se inicia el cruce y la mutación.

Para la solución del problema mediante el método propuesto, se implementa una herramienta en Microsoft Visual Basic y se corre el algoritmo para dieciocho (18) instancias propuestas, con el fin de determinar su efectividad. Finalmente, se comparan las soluciones a partir de GA frente a los resultados obtenidos por GRASP reportados en la literatura, métodos exactos y se calcula la desviación de las soluciones obtenidas con respecto a las óptimas. Es así que el desarrollo de este acápite se centra en detallar el significado del modelo de optimización TULFP que se encuentra dentro de la categoría de modelos de producción-logística, el análisis comparativo con los métodos exactos, y metaheurísticas reportadas (GRASP) y presentadas (GA) en esta investigación.

ANÁLISIS SISTEMÁTICO BIBLIOGRÁFICO EN EL MARCO DE LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA TULF

Es frecuente encontrar dentro de la literatura diferentes propuestas de solución para el problema de localización de instalaciones con capacidad ilimitada

(UFLP) utilizando metaheurísticos, Resende & Werneck (2006) (Resende & Werneck, 2006) proponen un heurístico híbrido que trabaja en dos fases, la primera es una rutina multistart con intensificación y la segunda fase es de post optimización. Algunas soluciones planteadas en la literatura a este tipo de problemas han sido mediante Búsqueda Tabú (Sun, Chapter 8. A Tabu Search Heuristic for the Uncapacitated Facility Location Problem Search, 2000) (Sun, Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search., 2006), (Ghosh, 2003) plantea la solución de un problema de localización combinando heurística de búsqueda de vecindades basado en una búsqueda Tabú y búsqueda local completa para resolver grandes instancias de un problema de localización. Jayaraman & Pirkul (2001) estudian el modelo de logística integrada, la propuesta de su trabajo es el diseño y evaluación de producción y distribución, diversos trabajos se han enfocado a la solución de problemas de este tipo, que es el modelo general del planteado en este proyecto.

Dentro de la revisión realizada de la aplicación de diferentes técnicas para la solución de problemas de localización, se concluye que el (TULFP) es un problema relativamente poco estudiado y sobre el que se han publicado pocos trabajos, en comparación con otros problemas de localización. De las soluciones conocidas de este problema, se encuentra la propuesta por Montoya-Torres et al. (2010) realizada mediante el algoritmo GRASP.

Los algoritmos genéticos se han aplicado a problemas de optimización combinatoria, incluso para flujos de gas y aceite por tubería Golberg (1983,1989) (Goldberg D. , 1983), job shop scheduling Davis y Storer (1985,1992) (Davis, 1985), el problema del agente viajero y la clasificación de redes de comunicaciones según su tamaño Davis (1987). La técnica también ha sido aplicada a los problemas de optimización de combinatoria, como embalaje de cajas House (1992) (House & Dagli, 1992) inventarios y distribución en planta Syswerda (1991) (Syswerda, 1991) (Ramírez C., 2006). Mientras AG aprovecha los requerimientos de selección con los parámetros que gobiernan esa selección, como el cruce y la mutación, las investigaciones publicadas han apoyado en demanda, la efectividad del AG como una metodología que es insensible a los valores exactos de estos parámetros. Para este trabajo se plantea resolver el problema a través de Algoritmos Genéticos, mediante los cuales se han solucionado diversos problemas de optimización combinatoria. Algunas recopilaciones de problemas solucionados mediante este algoritmo son presentadas por Aytug, Khouja, & Vergara, 2003.

Algoritmos genéticos

Los Algoritmos Genéticos, tratan de encontrar la mejor solución a un problema dado entre un conjunto de soluciones posibles (Gil Londoño, 2006). Se trata de

una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades.

Los algoritmos genéticos comienzan con cromosomas padres que son elegidos al azar a partir del espacio de búsqueda para crear una población. La población “Evoluciona” hacia los mejores cromosomas mediante la aplicación de operadores genéticos que modelan los procesos de selección, recombinación y mutación que ocurren en la naturaleza.

De la población objetivo se toman los cromosomas que harán parte en el proceso de reproducción. La selección ocurre con una probabilidad dada basada en una función fitness. La función desempeña un papel de entorno para distinguir entre las soluciones buenas y malas.

La recombinación se lleva a cabo después del proceso de selección es terminado. Se combina, con una probabilidad predefinida, las características de los dos cromosomas que forman los hijos de los padres seleccionados. Después de la recombinación se somete a los hijos a la mutación. En general, la mutación se refiere a la creación de un nuevo cromosoma a partir de un individuo con una probabilidad predefinida denominada probabilidad de mutación.

Después de tres operadores se llevan a las crías que se insertan en la población, produciendo una nueva generación. Este ciclo es realizarse hasta que el criterio de parada se cumpla (Shopova & Vaklieva-Bancheva, 2006).

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

TULFP (TWO ECHELON UNCAPACITATED FACILITY LOCATION PROBLE)

El problema de localización de instalaciones TULFP (Two- Echelon Uncapacitated Facility Location Problem), en general, se define de la siguiente forma:

Una empresa puede fabricar relativamente pocos productos y tiene un cierto número de plantas de producción. Los productos son despachados desde las plantas hacia centros de distribución y de ellos hacia los puntos de consumo (mercados). Las preguntas clave a responder son:

- 1) ¿Cuántos centros de distribución se deben abrir?
- 2) ¿Dónde deben localizarse esos centros de distribución?
- 3) ¿Cómo debe ser el flujo de productos a lo largo del sistema?

En la decisión del flujo de productos se encuentran implícitas otras decisiones acerca de qué productos deben ser fabricados en las plantas y para cuál(es) de los puntos de consumo¹².

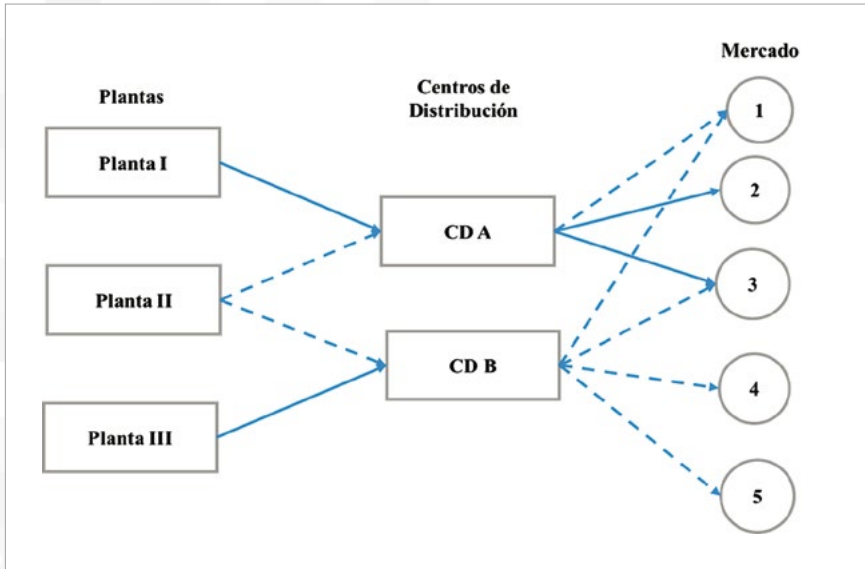


Figura 13 Representación esquemática del sistema.

Fuente: Adaptado de Applying GRASP to solve the multi-item three-echelon uncapacitated facility location problem (Montoya, 2011)

Parámetros:

h_i^k : Demanda del producto k en el mercado i .

f_j : Costos fijos de localizar un centro de distribución en el sitio candidato j .

c_{ijm}^k : Costo de producir una unidad del producto k en la planta m y de despacharla en el mercado i a través del centro de distribución localizado en el sitio candidato j .

s_m^k : Capacidad de producción del producto k en la planta m . Notemos que el modelo asume que las capacidades de producción de cada planta para cada producto son independientes. En general esto podría no ser del todo cierto.

M : Un número entero muy grande (i.e., $M \rightarrow \infty$)

¹² Tomado de la descripción del trabajo final para la materia de Modelos de optimización Avanzada, desarrollado por el profesor Jairo R. Montoya T., Ph.D., Dr.-Hab.

Variables de decisión:

Y_{ijm}^k : Representa el flujo del producto k desde la planta m hacia el mercado i a través del centro de distribución j .

X_j : Es igual a 1 si un centro de distribución es localizado en el sitio candidato j , y es igual a cero si no.

Modelo:

$$\min \sum_j f_j X_j + \sum_i \sum_j \sum_m \sum_k c_{ijm}^k Y_{ijm}^k \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_i \sum_m \sum_k Y_{ijm}^k \leq M X_j \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_m Y_{ijm}^k \geq h_i^k \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j Y_{ijm}^k \leq s_m^k \quad \forall m, k \quad (4)$$

$$Y_{ijm}^k \geq 0 \quad \forall i, j, m, k \quad (5)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (6)$$

La función objetivo minimiza la suma de los costos fijos de localización de los centros de distribución y de los costos variables de flujo de productos. El lado izquierdo de las restricciones (2) corresponde al flujo a través del centro de distribución localizado en el sitio candidato j . Las restricciones (2) establecen que este flujo sólo es positivo si un centro de distribución es localizado en el sitio candidato j . Las restricciones (3) establecen que la cantidad total de producto k despachada hacia el mercado i desde todas las plantas y todos los centros de distribución debe ser mayor o igual que la demanda del producto k en el mercado i .

De forma similar, las restricciones (4) consideran la capacidad de producción de las plantas. Para el caso de este artículo, en ambos conjuntos de restricciones (3) y (4), se considera la fabricación de un solo producto (i.e., $k = 1$). Finalmente, las restricciones (5) y (6) corresponden a las restricciones de no negatividad y de valores binarios admisibles para las variables de decisión.

Propuesta de solución al problema mediante Algoritmo Genético

Como ya se mencionó anteriormente, los Algoritmos Genéticos han sido aplicados en la solución de diversos problemas de investigación de operaciones. Los pasos básicos de un algoritmo genético son (Peña, Truyol, & Aqs, n.d.):

- Evaluar la puntuación de cada uno de los cromosomas generados.
- Permitir la reproducción de los cromosomas siendo los más aptos los que tengan más probabilidad de reproducirse.
- Con cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo individuo generado.
- Organizar la nueva población.

En la aplicación de Algoritmos Genéticos se consideran los siguientes parámetros:

- *Tamaño de la población*: Indica el número de cromosomas en la población para una operación determinada.
- *Probabilidad de Cruce*: Indica la probabilidad de reproducción entre los cromosomas.
- *Probabilidad de Mutación*: Indica la frecuencia a con la que los genes de un cromosoma son mutados

El establecimiento de los parámetros, puede hacerse de forma estática estableciendo los valores de la probabilidad de cruce y la tasa de selección, mediante análisis teóricos, o tener parámetros dinámicos que cambien a través de la ejecución del algoritmo. Sin embargo, la mayoría de los investigadores concuerdan en que la selección de los parámetros depende del problema específico que se esté tratando (Jaramillo, 2007).

La rutina general para el desarrollo de un algoritmo genético, tomada de Sait y Yousef citados por (Vélez & Montoya, 2007), se presenta en la Figura 14.

Sea $P = \{x^1, x^2, \dots\} \subseteq \Omega$ la población

Mientras no se cumpla el criterio de parada:

Selecciónar como padres $\{x^i, x^j\} \in P$ con probabilidad proporcional a $a(x^i)$ y $a(x^j)$

Cruzar los padres $\{x^i, x^j\}$ para generar el conjunto O de k hijos $O = \{x_1^{i,j}, x_2^{i,j}, \dots, x_k^{i,j}\}$

Para cada hijo generado:

Generar mutación con probabilidad P_m

Hacer que este hijo ingrese a P con probabilidad proporcional a su aptitud

Si el hijo ingresa a P , entonces

Selecciónar al azar, con probabilidad inversamente proporcional a la aptitud, un elemento que salga de P para ser reemplazado por el nuevo elemento.

Fin

Fin

Fin

Figura 14 Seudocódigo del Algoritmo Genético.

Fuente: Vélez & Montoya (2007).

Fase de construcción

El primer paso para la construcción del algoritmo fue la generación de los datos de entrada; los costos fijos y variables, las demandas y las capacidades se obtuvieron de acuerdo a lo establecido en la primera fase del presente trabajo. A continuación, se realiza la descripción del proceso de construcción del algoritmo, el cual se resume en la Figura 15:

Generación de la población inicial de cromosomas. Para generar la población inicial, primero se resuelve el problema de selección de los Centros de Distribución. Para realizar esta selección, se asignan aleatoriamente los valores de 0 o 1 al conjunto de variables X_j . Mediante este mecanismo se determina que Centros de Distribución se abrirán, para así más adelante establecer los flujos de producto que se llevarán de cada planta a cada Centro.

Para calcular el flujo del producto a través de los Centros de Distribución abiertos, se asigna a cada Centro una cantidad al azar de producto de cada planta, hasta que cumplir con la restricción de demanda y capacidad; si cumple con las restricciones, el cromosoma es seleccionado para formar la población inicial, de lo contrario, el algoritmo vuelve a la primera fase y realiza nuevamente el proceso de asignación

aleatoria de centros de distribución y realiza esta operación hasta cumplir con las restricciones de demanda y capacidad.

El algoritmo itera hasta generar la población inicial de cromosomas, cuyo tamaño se ha establecido como uno de los parámetros fijos del problema.

Generación de la descendencia. Para la generación de la descendencia, se parte de la organización de los costos que se obtienen de la población inicial de cromosomas; estos se ordenan de mayor a menor, y se calcula la participación del costo de cada cromosoma sobre el costo total de la población, este paso tiene como objetivo establecer una probabilidad de selección la cual estará dentro de los valores máximo y mínimo de las probabilidades calculadas como se describió. Entre el valor máximo y mínimo se moverá el algoritmo para seleccionar los padres que darán como resultado a la siguiente generación.

La posición de cruce se genera de forma aleatoria, esto es, se genera al azar una probabilidad, la cual se multiplica por el número de posiciones del cromosoma, el resultado obtenido indica la posición en donde se deben cruzar los padres seleccionados. Del cruzamiento se generan dos nuevos cromosomas hijos. Se evalúa el costo de los hijos respecto al menor costo de la generación anterior, si el costo de los hijos es menor, se evalúa si cumple con las restricciones de demanda y capacidad, y si cumple, se crea un arreglo los hijos y los costos asociados. El tamaño de la nueva población obtenida de cromosomas hijos, es igualmente un parámetro fijo del problema.

Mutación de la población de hijos. En términos de evolución la mutación es algo extraordinario, por tal motivo la probabilidad de mutación tiende a ser un valor muy pequeño. Este valor se estableció teniendo en cuenta referencias bibliográficas. Establecida la probabilidad de mutación, los cromosomas a mutar se seleccionan aleatoriamente. Utilizando la misma estrategia (al azar) se elige la posición del cromosoma donde se realizará la mutación. Una vez realizado este proceso, se halla el costo del cromosoma mutado, se evalúa si este costo es menor que el del cromosoma original y si es así se reemplaza por el del cromosoma mutado, de lo contrario se mantiene el original.

Finalmente, de la población de cromosomas hijos se elige aquel cuyo costo sea el menor y allí finaliza el algoritmo.

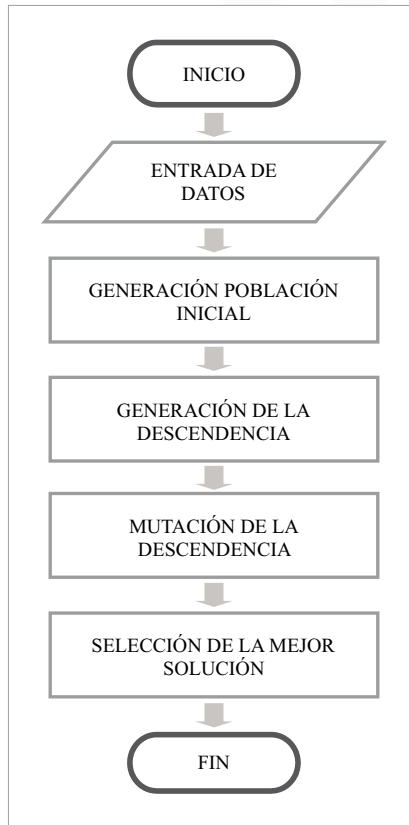


Figura 15 Fase de construcción del algoritmo.

Fuente: Elaboración propia.

Fitness del Algoritmo Genético

La función fitness para el algoritmo genético que se muestra en este artículo está dado por la evaluación del cromosoma frente al costo variable de cada cliente i , para la del centro de distribución j desde la planta m para el producto k , ya que el arreglo diseñado como cromosoma de este modelo está dado por la variable de decisión asociada con el flujo que en el modelo se define como Y_{ijmk} . Este fitness está relacionado plenamente con el Costo Total de la red multi - escalón de dos niveles.

Implementación del Algoritmo

En esta etapa el propósito es verificar la eficiencia del método de solución propuesto. En el trabajo desarrollado por Montoya-Torres et al. (2010) se realiza una breve descripción de las características que son consideradas importantes para

evaluar el desempeño de una metaheurística, las cuales solo mencionaran a continuación: Rapidez, Exactitud, Eficacia, Eficiencia y Aprovechamiento de recursos computacionales.

La eficiencia del algoritmo debe ser evaluada en términos de la velocidad para encontrar soluciones factibles, lo que se hará midiendo los tiempos de ejecución (Montoya-Torres et al., 2010), al mismo tiempo que se evalúa el valor de la función objetivo.

Posterior al desarrollo del algoritmo, de acuerdo a lo descrito en la etapa anterior, este fue ejecutado para 18 instancias planteadas por el problema, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4 Definición de escenarios.

Factor	Nivel
Productos	1,3,10
Plantas	10,20
Instalaciones	16,25,50
Clientes	50
Total combinaciones	18

Fuente: Elaboración propia.

Como ya se mencionó, los Algoritmos Genéticos requieren de la definición del tamaño de la población, la probabilidad de cruce y la probabilidad de mutación. Para efectos de simplificar el problema se tomó un tamaño de población fija, para ello se utilizó uno de los tamaños de población recomendado por Jaramillo (2007), esto es, se tomó un tamaño de población de 30 cromosomas.

Respecto a la probabilidad de cruce se tomaron valores aleatorios que fueron generados por el algoritmo y para la probabilidad de mutación se asumió un valor de 0,2%; este valor se eligió teniendo en cuenta la revisión realizada en el trabajo de Jaramillo (2007). Igualmente, como ya se había descrito, se definió el tamaño de la población resultante, el cual se determinó sería de 10 cromosomas hijos, por criterio del autor, con el ánimo de reducir el tiempo de ejecución del algoritmo.

Partiendo de lo anterior, se corrió el modelo para cada una de las instancias, con el objetivo de observar el cambio en el costo total y el tiempo de ejecución para encontrar una solución y comparar estos resultados frente a los obtenidos mediante el empleo de un optimizador.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Métodos exactos

Para analizar de forma comparativa los resultados se tomaron los tiempos de cálculo y el valor óptimo que se obtuvieron de la primera fase de este trabajo, los cuales fueron generados utilizando el software de optimización X-pressmp (FICO Xpress Optimization Suite 7.0.2) el cual permite encontrar las mejores estrategias para lograr un resultado máximo o mínimo, bajo ciertas restricciones. Los resultados de esta primera fase se resumen en la tabla 5.

Tabla 5 Resultados obtenidos con X-press.

Instancia	Valor obtenido F.O	Tiempo computacional (segundos)
1	\$ 16.891.30	0.1
2	\$ 31.964.50	0.3
3	\$ 11.249.00	0.6
4	\$ 60.357.00	0.4
5	\$ 20.014.90	0.5
6	\$ 61.692.00	1.1
7	\$ 18.558.30	0.5
8	\$ 33.956.00	0.5
9		
10	\$ 53.348.00	1.1
11	\$ 29.232.00	1.7
12	\$ 57.994.00	3
13	\$ -	1.6
14	\$ -	2.4
15	\$ 16.118.00	5.6
16	\$0	3
17	\$ 16.173.00	11.5
18	\$ 63.733.20	12.8

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente fase se considera la solución a través de métodos exactos variando los parámetros de capacidad y demanda. Para evaluar el comportamiento de la función objetivo se plantean 3 escenarios i) la capacidad es superior a la demanda, ii) cuando la capacidad es igual a la demanda y iii) cuando la capacidad es

menor que la demanda. A partir de estos escenarios la Figura 16, permite observar el comportamiento del escenario i), donde se puede ver que el valor de la función objetivo tiene un incremento excesivo en para las instancias 13,14, 16 y 18.

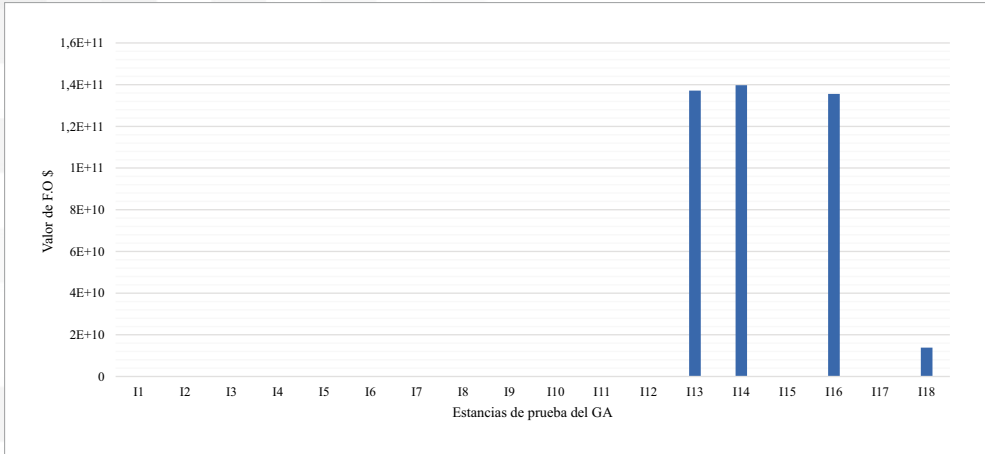


Figura 16 Resultado obtenido F.O. cuando la capacidad es superior a la demanda.

Fuente: Resultados obtenidos en Xpressmp.

En el escenario ii), los incrementos del valor de la función objetivo se exceden en las instancias 13, 14,16 y 18. Comportamientos similares al escenario i).

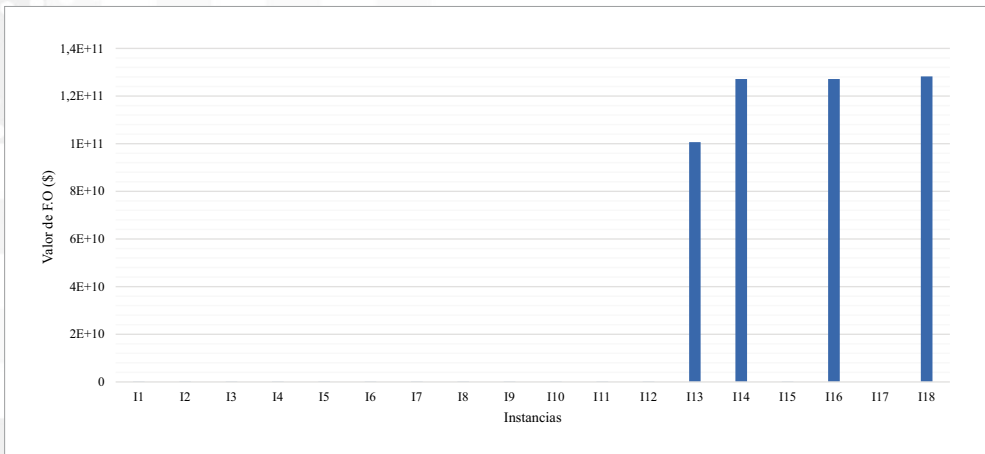


Figura 17 Resultado obtenido F.O. cuando la capacidad es igual a la demanda.

Fuente: Resultados obtenidos en Xpressmp.

En la Figura 18, se observa el comportamiento del valor de la función objetivo cuando los parámetros de capacidad son menores que la demanda, aquí se muestra

que tiene un efecto contrario a los escenarios i) y ii) ya que solo decrece el valor en las instancias 13,14 y 16.

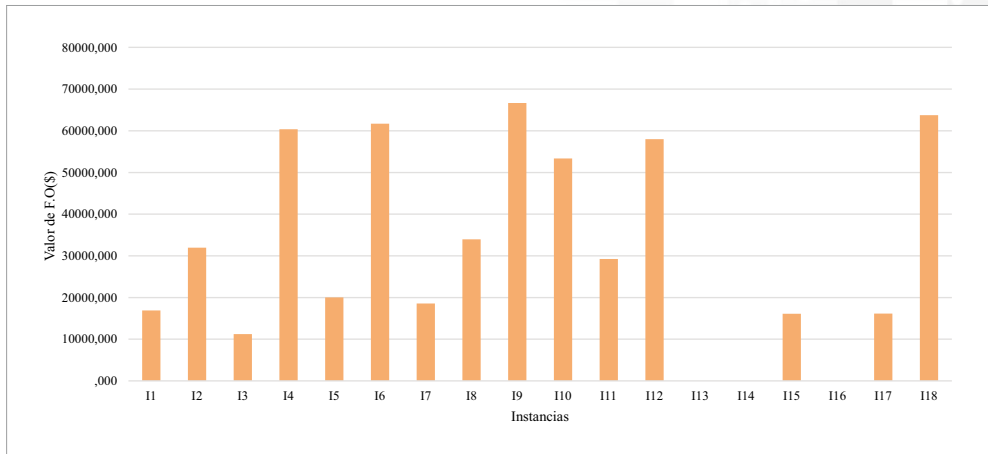


Figura 18 Valor obtenido F.O. cuando la capacidad es menor a la demanda.

Fuente: Elaboración propia.

A medida que se incrementa la capacidad, los costos se incrementan de forma importante en los últimos escenarios evaluados; mientras que, cuando no existe la capacidad suficiente, al parecer estos valores se mantienen cierta tendencia estable. Sin embargo, en lo que respecta a las variables de decisión de cada uno de los escenarios, se puede decir que los escenarios que manejan una capacidad igual o superior a la demanda tienen respuestas más razonables en cuanto a los valores de las variables de decisión, ya que tienen en cuenta la restricción de abrir o no un centro de distribución, lo que no sucede cuando la capacidad no cumple con los requerimientos de la demanda.

Resultados de la implementación del algoritmo genético

Partiendo del análisis anterior, se consideró para la generación de los escenarios mediante el algoritmo genético, considerando una capacidad constante de 3000 unidades para cada planta, garantizando así que se satisfacen las necesidades de producto que requiere el mercado.

Los experimentos realizados para resolver el Problema de localización se desarrollaron bajo los siguientes parámetros:

Tabla 6 *Parámetros del diseño experimental del Algoritmo Genético.*

Criterio	Valor experimental
Población	30
Probabilidad de mutación	0.2
Probabilidad de cruce	Aleatorio
Generación de hijos	10

Fuente: Elaboración propia.

Durante el experimento (ejecución de las 18 instancias), se observó que el fitness del cromosoma tiende a estabilizarse para los últimos individuos de la población, como lo muestra la gráfica de uno de los escenarios generados.

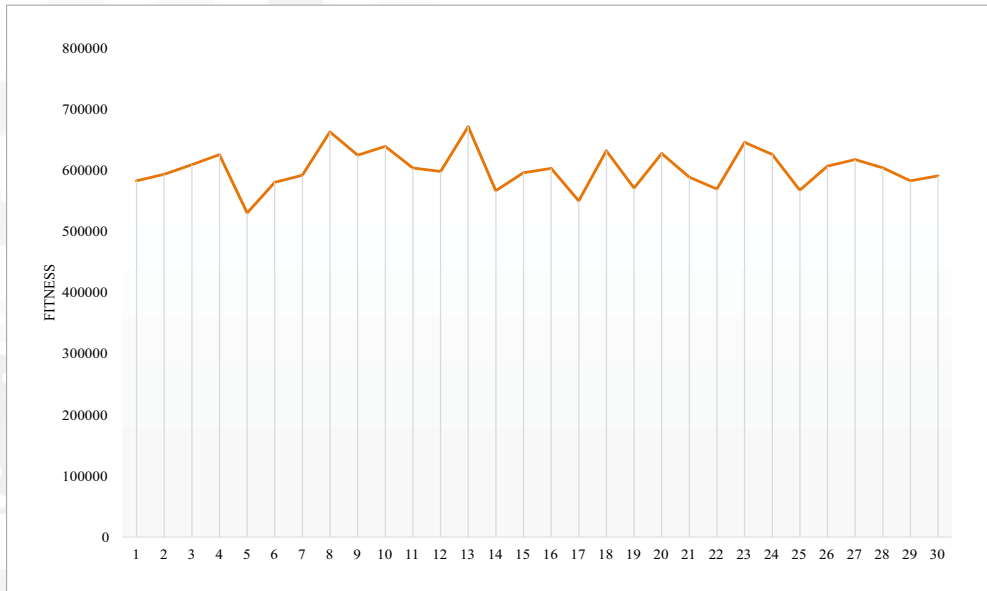


Figura 19 *Rendimiento del Algoritmo Genético durante la generación de individuos.*

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la eficacia del algoritmo es importante considerar, como ya se había mencionado, el tiempo de ejecución del algoritmo y la desviación del valor de la función objetivo comparada con el óptimo, esta último obtenido mediante el uso del software Xpress. Los resultados de dicha evaluación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7 Resultados de comparación entre el óptimo y el Algoritmo Genético.

Nombre de la Instancia	Número de productos (k)	Número de plantas (m)	Número de centros de distribución (j)	Número de clientes (i)	Global Search		Algoritmo Genético	
					Valor obtenido F.O.	Tiempo computacional	Valor obtenido F.O.	Tiempo computacional
11	1	10	16	50	189338	4.9	490870.575	45.8
12	1	10	25	50	159845	11.1	499935	82.62
13	1	10	50	50	143492	86.6	483198.42	311.492
14	1	20	16	50	148811	6.4	451232.32	105.93
15	1	20	25	50	156896	7.4	1251185	268.4
16	1	20	50	50	146902	101.8	663027.12	476.51

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, la desviación frente al óptimo es sumamente importante lo que sugiere que la meta heurística diseñada se encuentra lejos del óptimo tanto en eficiencia como en eficacia. Adicionalmente, el tiempo computacional del algoritmo es alto, lo que no permitió correr los demás escenarios para validar las desventajas y bondades de esta propuesta.

Dadas las condiciones de este contexto poco satisfactorio, se definió una proyección de lo que sucedería con los resultados, tomando en consideración que la desviación promedio frente al óptimo es de 310% y la desviación promedio con respecto al tiempo fue de 1198%. Los resultados del algoritmo genético frente al tiempo de consumo computacional y los valores de la función objetivo se pueden observar a continuación.

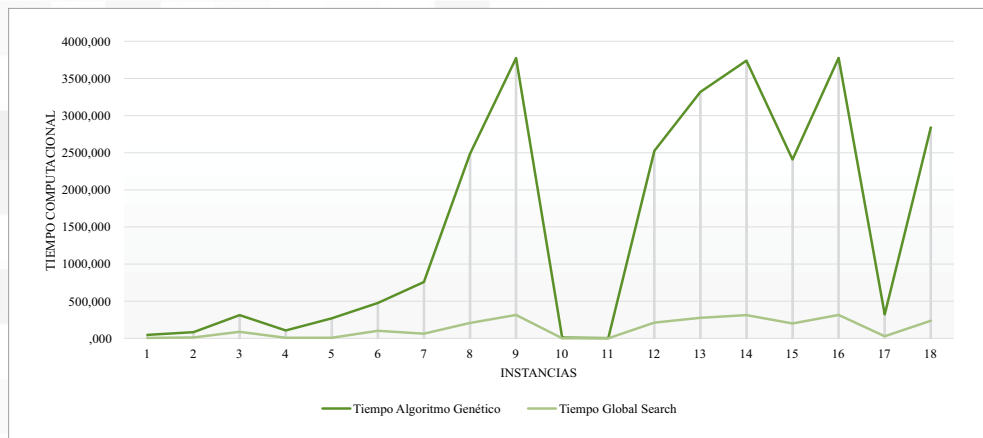


Figura 20 *Tiempo de consumo computacional del Algoritmo Genético comparado con el óptimo.*

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo fue desarrollar un método de solución que permitiera resolver el problema de ubicación de instalaciones con capacidad ilimitada de dos eslabones conocidos como TULFP (Two –echelon Uncapacitated Facility Location Problem) y aunque se logró parte del objetivo principal, se espera desarrollar un método más eficiente que pueda disminuir de manera considerable la desviación con respecto a la solución óptima y el tiempo de cálculo.

En la medida que se pretende refinar el algoritmo genético para que cumpla con las condiciones del modelo, se observó que el tiempo de ejecución se incrementa y aleja los resultados del costo total de la solución óptima, tanto en tiempo como en valor de la solución.

Los experimentos realizados bajo los supuestos propuestos muestran resultados poco eficientes; sin embargo, es importante resaltar que estos pueden llegar a mejorar considerando otras combinaciones de los parámetros, lo cual se puede realizar mediante herramientas de estadística inferencial como el diseño de experimentos.

TRABAJO EN AULA PROPUESTO

- 1) Lea el artículo Applying GRASP to solve the multi-item three-echelon uncapacitated facility location problem. Analice y discútalo.

- 2) Escriba el problema TULFP en su forma extendida para un 1 producto, 10 plantas, 16 instalaciones, 2 clientes.
- 3) Genere a partir de aleatorios los parámetros para las instancias propuestas para la ejecución del modelo de optimización TULFP (18 instancias en total).
- 4) Resuelva el modelo de optimización con métodos exactos a través algunos de los softwares disponibles para solución de modelos de optimización (OpenSolver, GAMS, Xpress, LINDO, GUSEK u otro de su interés)
- 5) Diseñe un modelo experimental modificando los parámetros de capacidad y demanda para las estancias diseñadas y obtenga el valor de la función objetivo. Analice y concluya.
- 6) Interprete con sus palabras una heurística basada en Algoritmos Genéticos para resolver el problema. Comparta su heurística y concluya.
- 7) Programe su idea en algún lenguaje de programación VisualBasic,Python, R o el de su preferencia.
- 8) Solucione la estancia más pequeña del modelo TULF y compare los resultados con el método exacto.
- 9) Compare los resultados y concluya.

BIBLIOGRAFÍA

- Aytug, H., Khouja, M., & Vergara, F. (2003). Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: A review. *International Journal of Production Research*, 41(17), 3955-4009.
- Davis, L. (1985). Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms. *Proceedings of an international Conference on Genetic Algorithms*, (págs. 136-140).
- Feo, T., & Resende, M. (1989). A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Operations Research Letter*, 67-71.
- Feo, T., & Resende, M. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal Global Optimization*, 109-133.
- Ghosh, D. (2003). Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 150-162. doi:10.1016/s0377-2217(02)00504-0
- Gil Londoño, N. (2006). *Algoritmos Genéticos*.
- Goldberg, D. (1983). *Computer-aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning*. Doctoral Dissertation. University Michigan.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison Wesley Publishing Company.
- House, R. L., & Dagli, C. H. (1992). An Approach to Three- Dimensional Packing Using Genetic Algorithms. *Networks*, 2, 937-942.
- Jaramillo, J. (2007). Metodología de optimización de los parámetros de control de un algoritmo genético.
- Jayaraman, V., & Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, 394-408. doi:10.1016/S0377-2217(00)00033-3
- Montoya Torres, J. R., Aponte, A., & Rosas, P. (2010). Applying GRASP to solve the multi-item three-echelon uncapacitated facility location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 397-406.
- Peña, A., Truyol, P., & Ays, G. (s.f.). *Algoritmos Genéticos*.
- Ramírez, L. N. (2006). *Configuración física de una planta de productos químicos a partir de algoritmos genéticos*. Bogotá D.C: Universidad de Los Andes.

- Resende, M., & Werneck, R. F. (2006). A hybrid multistart heuristic for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 54-64. doi:10.1016/j.ejor.2005.02.046
- Shopova, E. G., & Vaklieva Bancheva, N. G. (2006). BASIC- A genetic algorithm for engineering problems solution. *Computers & Chemical Engineering*, 1293-1309. doi:10.1016/compchemeng.2006.03.003
- Sun, M. (2000). Chapter 8. A Tabu Search Heuristic for the Uncapacitated Facility Location Problem Search.
- Sun, M. (2006). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers & Operations Research*, 33(9), 2563-2589. doi:10.1016/j.cor.2005.07.014
- Syswerda, G. (1991). *Schedule Optimization Using Genetic Algorithms. Handbook of Genetic Algorithms*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Vélez, M., & Montoya, J. (2007). Metaheurísticos: Una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. *Revista EIA*, 4(8), 99-115.

GLOSARIO

- *Algoritmo Genético*: Estos son métodos robustos de búsqueda que permiten tratar problemas de optimización donde el objetivo es encontrar un conjunto de parámetros donde el objetivo es encontrar parámetros que minimizan o maximizan una función de adaptación (Fitness) (Estevez, 1997)
- *Three-echelon Uncapacitated Facility Location Problem (TULFP)*: Es un problema de ubicación de instalaciones de capacidad ilimitada en una cadena de suministro, el flujo de producto se da entre las plantas de manufactura y los centros de distribución. Es una extensión del problema de producción – distribución – multiproducto en teoría de localización (Daskin, 2013).
- *GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)*: método de inicio múltiple para resolver problemas combinatorios en los que cada iteración consta de dos fases una de construcción y búsqueda local (Feo & Resende, 1989).
- *NP-Completeness*: Teoría de la complejidad computacional, que identifica un subconjunto de problemas de decisión complejos y difíciles de resolver (Garey & Jhonson, 1979).
- *Metaheurísticas*: es un método heurístico para resolver un problema computacional, usando los parámetros dados por el usuario sobre procedimientos genéricos y abstractos que se esperan sean eficientes (Blum & Roli, 2003)

El software de código abierto como aliado logístico en pequeñas empresas

Enfoque de investigación cuantitativa

Franci Carolina Pineda Mora¹³
Edgar Duarte Forero¹⁴
Manuel Camacho Oliveros¹⁵

¹³ Estudiante Ingeniería Industrial.

¹⁴ Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial. Docente Jornada Completa – Universidad Libre. Grupo de Investigación CINDES.

¹⁵ Ingeniero Industrial, Magister en Sistemas de Calidad y Productividad. Docente Investigador– Universidad Libre. Grupo de Investigación CINDES.



INTRODUCCIÓN

El transporte se ha convertido en un factor de gran relevancia en la búsqueda de la competitividad organizacional. “El sistema de transporte es el componente más importante para la mayoría de las organizaciones ya que el éxito de una cadena de abastecimiento está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuado” (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009). El transporte agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. A manera de ejemplo, una de las modalidades de mayor protagonismo en las dinámicas urbanas de transporte es el de las entregas a domicilio, también denominada como “logística de última milla”. Solamente en Colombia nueve de cada diez personas pide un domicilio en un mes (Eje21, 2019, p. 21) y el sector presenta incrementos en ventas de hasta el 91% (Guevara Benavides, 2018).

La aplicación de herramientas de gestión de operaciones en la toma de decisiones sobre procesos de distribución de entregas a domicilio tiene una amplia trayectoria en la literatura científica (Eksioglu et al., 2009; Gong & Fu, 2010; Tunjongsirigul & Pongchairerks, 2010).

El Grupo de investigación CINDES y su línea de investigación en Gestión de operaciones ha venido desarrollando aplicaciones de herramientas de código abierto en organizaciones pequeñas con problemas logísticos que afectan su eficiencia. El software de código abierto permite mayor flexibilidad, aprendizaje y, sobre todo,

ahorros, en el desarrollo de soluciones logísticas. El trabajo realizado por el grupo de investigación ha abordado temáticas en hospitales, almacenes y fábricas con resultados que permiten evidenciar las ventajas de estos paquetes.

Este capítulo busca realizar un acercamiento a la disponibilidad y utilidad que tiene el uso de herramientas de código abierto para la solución de problemas de gestión de operaciones en empresas pequeñas y medianas que afrontan problemas como de distribución urbana de mercancías. Para ello, se presentan los resultados de investigación de un caso basado en el problema de reparto de domicilios de alimentos. El problema está caracterizado por la necesidad de minimizar los tiempos de entrega de los domicilios por recorrido realizado a partir de una demanda conocida y una flota de repartidores que utilizan la bicicleta como vehículo.

La problemática se aborda desde la perspectiva del problema VRPTW con un modelamiento basado en programación lineal entera que minimiza el costo de los desplazamientos dentro de las ventanas de tiempo establecidas y utilizando la capacidad disponible por los vehículos. El modelo fue validado en una empresa de producción y distribución de alimentos. Se inició con un diagnóstico sobre el estado actual del proceso pasando posteriormente a una evaluación en asocio con la empresa de distintas opciones de herramientas de gestión de operaciones para determinar su posibilidad de implementación y resultados esperados.

Posteriormente, se definieron las variables, parámetros, y restricciones que deben ser tenidas en cuenta para la asignación de rutas. Finalmente, se construye el modelo del sistema de ruteo para los vehículos y se demuestra su factibilidad entre los resultados obtenidos y la situación inicial del proceso basado en el mejoramiento efectuado en los tiempos de entrega.

El capítulo parte por reseñar la naturaleza del software de código abierto y su importancia en la investigación de operaciones. Se presentan ejemplos de aplicación y perspectivas de uso. Posteriormente se describe el desarrollo y principalmente los resultados de implementación de un aplicativo basado en código abierto en una pequeña empresa distribuidora de alimentos preparados. La discusión de resultados y conclusiones finaliza el capítulo abriendo la puerta para introducir más tecnologías de este tipo en el contexto empresarial local.

EL USO DE SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO EN LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

En los inicios del uso de la computación para la resolución de problemas de Investigación de Operaciones (IO), el código fuente se compartía en la comunidad de

usuarios que utilizaban el mismo hardware. El software no era portátil, los programas estaban vinculados al hardware del proveedor. Ese fue el caso del paquete IBM MPSX (uno de los primeros paquetes para la solución de problemas de programación entera mixta), el cual estuvo a disposición de la comunidad de usuarios de IBM hasta el año de 1969, cuando una sentencia de antimonopolio contra esta compañía cambió las estrategias de mercadeo, y dejó de exigir a los clientes la compra integrada de software y hardware (Lougee-Heimer, 2003).

Este cambio abrió el mercado a empresas independientes dedicadas a la producción de software, lo cual llevó a que el código se convirtiera en “propietario”. En la actualidad, las librerías de optimización de IBM son de libre acceso sólo para usuarios de la academia, pero su código fuente sigue siendo reservado. Con el advenimiento de la Internet, fue posible la distribución a gran escala del software. Esto permitió que pudiese ser validado por pares, lo cual corresponde más al ámbito académico, en donde la decisión de mantener su propiedad no supera los beneficios que tiene el difundir su código dado su valor científico.

Ahora bien, desde el punto de vista del usuario final, el software propietario posee varios inconvenientes: los usuarios deben confiar en los proveedores para corregir errores y proporcionar actualizaciones; renovar o cambiar a un nuevo sistema puede implicar la necesidad de adquirir nuevas licencias; y si el proveedor por alguna razón abandona el soporte para el producto, el cliente no cuenta con alternativas para seguir obteniendo respaldo. Por el contrario, el software de código abierto garantiza a los usuarios ciertos derechos con respecto al propietario. Estos derechos están codificados por la Iniciativa de Código Abierto (opensource.org, 2020), y en la Definición de Código Abierto (ODS, por sus siglas del inglés). El término Código Abierto está protegido por una marca de certificación registrada y se refiere al software con licencia de acuerdo con los términos de la OSD.

Para recibir la certificación, el software debe distribuirse bajo una licencia que satisfaga un conjunto de criterios para la protección de los usuarios y desarrolladores, los cuales se resumen a continuación (Saltzman, 2002):

- 1) Redistribución libre: cualquiera puede redistribuir software sin tener que pagar una regalía
- 2) Código fuente: el código fuente debe incluirse con cualquier distribución o debe ser accesible.
- 3) Obras derivadas: la distribución de modificaciones y trabajos derivados debe permitirse bajo los mismos términos de la licencia original.
- 4) Integridad del código fuente del autor: los autores pueden exigir mantener la integridad de su código original y autorizar la distribución de modificaciones como “archivos parche” o bajo otros mecanismos.

- 5) No discriminar a ninguna persona o grupo.
- 6) No discriminar en función de la actividad: las licencias no se pueden restringir a uso comercial o con fines particulares.
- 7) Distribución de la licencia: los redistribuidores pueden no requerir licencias adicionales para el software.
- 8) La licencia no debe ser específica de un producto. La redistribución del software debe permitirse independientemente de otros productos.
- 9) La licencia no debe restringir otro software: la licencia de un código en particular no debe imponer condiciones a otro software distribuido con él.

El software de código abierto no es de dominio público, eso significa que tiene derechos de autor (que son propiedad del titular, y quien posee los derechos de autor) y tiene licencia para su uso por otros.

Esta forma de distribución tiene algunas similitudes con el software propietario. En una licencia de código abierto, el usuario no “posee” el código o los derechos de autor; la licencia determina las reglas con respecto a los usos del código. Por ejemplo, el usuario no puede redistribuir el código bajo una licencia diferente. Para el caso de código de dominio público, esta restricción no aplica. Las licencias de código abierto otorgan a los usuarios derechos como ver y modificar el código, crear trabajos derivados y redistribuir el código o los trabajos derivados bajo la misma licencia.

De manera particular el desarrollo de código abierto en el área de la IO posee ventajas significativas, como: 1) estar disponible para que los investigadores lo utilicen para reproducir los resultados publicados; investigaciones posteriores se pueden soportar sobre código ya establecido; lo anterior permite que existan mejoras en el desarrollo de los algoritmos. 2) es menos probable que se pierdan trabajos, ya que, si su autor original lo abandona, este puede ser recogido por otros desarrolladores y continuar mejorándolo y 3) con el soporte de interfaz colaborativas como la iniciativa COIN-OR OpenSolver, los lenguajes de modelación de nivel superior pueden llamar a cualquier “solver” integrado compatible a través de un API. Esto permite el acceso a diferentes solucionadores sin tener que realizar cambios en el código original.

La Interfaz Común de Optimización para la Investigación de Operaciones (The Common Optimization Interface for Operations, COIN-OR) (Lougee-Heimer, 2003) es una iniciativa que tiene como propósito promover el uso código abierto para la comunidad que trabaja en investigación de operaciones (Saltzman, 2002). Proporciona un gran repositorio de software de código abierto para su descarga libre, así mismo, fomenta el desarrollo de modelos y algoritmos computacionales

de vanguardia para la investigación de operaciones (Martin, 2010). COIN-OR comenzó en el año 2000 como un proyecto en IBM Research, en el 2004, COIN-OR se separó de IBM, dando lugar a la Fundación COIN-OR, la cual es una organización educativa y científica sin fines de lucro.

El uso de COIN-OR provee un repositorio actualizado de software para la resolución de problemas de IO, por ejemplo, los solvers: Clp y Cbc para la solución de problemas de programación lineal (PL) y entera mixta (MILP) respectivamente, fueron desarrollados por IBM y donados a COIN-R. Otras organizaciones como: Yahoo, la Agencia de Protección Ambiental y los Laboratorios Sandia de los Estados Unidos han sido usuarios y contribuyentes de COIN-OR. Así mismo, esta iniciativa ha tenido impacto en los programas de formación desde el pregrado pues muy a menudo los estudiantes se ven limitados al desarrollo de problemas “irrealistas”. Las instituciones educativas tienen limitaciones en el acceso a software de optimización y sólo disponen de licencias de prueba lo que no permite la resolución de problemas de mayor tamaño. Con relación a este uso, se destaca el complemento OpenSolver (Mason, 2012) para Microsoft Excel que permite resolver problemas de PL/MILP de hasta 70000 variables y 76000 restricciones.

Como se ha descrito, el uso de código abierto para la resolución de problemas de IO permite en primera medida “resolver” la barrera de acceder a herramientas de vanguardia, pero este aspecto por sí sólo, no determina la apropiación que debe tener la disciplina de la IO en la resolución de problemas en organizaciones que requieren mejorar sus capacidades productivas pero que tampoco disponen de personal competente y/o sistemas para la gestión de sus operaciones, como lo son las pequeñas empresas.

Frente a esta realidad se resalta la propuesta de Gallo (2004), quien pone en discusión dos principios éticos que deben seguir los profesionales e investigadores de la IO. El primero de ellos, es el *principio de responsabilidad*, el cual sugiere tener en cuenta en que el trabajo del profesional del IO no sólo se debe contemplar la mirada del “cliente”, como aquella persona que paga por los resultados de la investigación o asesoramiento profesional, sino también tener en cuenta a todos los “grupos de interés”, es decir, aquellos que pueden verse afectados directa o indirectamente por los resultados de nuestra actividad. Y el segundo principio, denominado *de intercambio y cooperación*, exige una disposición más abierta de compartir los resultados de las actividades de investigación, ya sean estas ideas, algoritmos o software.

El autor argumenta que una de las razones para este último principio es que los resultados obtenidos no son solo nuestros; sino que se soportan en un gran cuerpo de

conocimiento preexistente, por lo tanto, nuestro trabajo ha recogido todo el conocimiento científico y profesional disponible, y es nuestro deber permitir que toda la comunidad se beneficie de nuestros resultados. Este principio se alinea no sólo con la oportunidad de acceder y promover el uso de software de código abierto, sino con el deber que tienen los profesionales de la IO de promover y facilitar la apropiación de este conocimiento en sectores que tienen amplias oportunidades de mejorar sus capacidades competitivas y no reconocen las posibilidades que ofrece la IO frente a dicho propósito. El trabajo aquí presentado demuestra como la disciplina de la IO puede contribuir a mejorar los procesos operativos de pequeñas empresas con la aplicación de software abierto.

CASO DE APLICACIÓN: LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN Y SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO

El flujo de productos, recursos e información a través de las organizaciones con la llamada “red de suministros”, obliga a conceptualizar a la empresa como un conjunto de procesos de los cuales depende su propio éxito (Ver Figura 21). Douglas Lambert (2000) afirma que el correcto funcionamiento de procesos clave como gestión de la demanda, seguimiento a la orden, flujo de manufactura, aprovisionamiento o servicio al cliente, requieren del uso de herramientas de optimización que permitan alcanzar los máximos niveles de eficiencia operacional de manera complementaria a adecuadas decisiones estratégicas.

Complejas y costosas soluciones informáticas pueden brindar el apoyo requerido a las redes de suministro, pero en muchos casos se trata de herramientas sobredimensionadas para los verdaderos requerimientos. Estudios recientes indican que el 44% de los recursos disponibles en la nube no son utilizados por sus clientes (Danz et al., 2020). Ante esta situación, la posibilidad de utilizar software de código abierto se visibiliza como una medida que permite apoyarse en herramientas de bajo costo, adaptables sobre todo a las organizaciones pequeñas. Es importante recalcar que, en América Latina, el 99% de las empresas formales latinoamericanas son MIPYMES, y general el 61% del empleo formal, siendo así un actor fundamental en la productividad de la región.

Para presentar las ventajas de adoptar esta estrategia, este capítulo presenta un caso de aplicación en donde se aborda el uso de herramientas de software de código abierto para la solución de problemas de distribución de productos. En consecuencia, se expondrá inicialmente en qué consiste este tipo de problemas y posteriormente se profundizará en el caso de estudio específico.

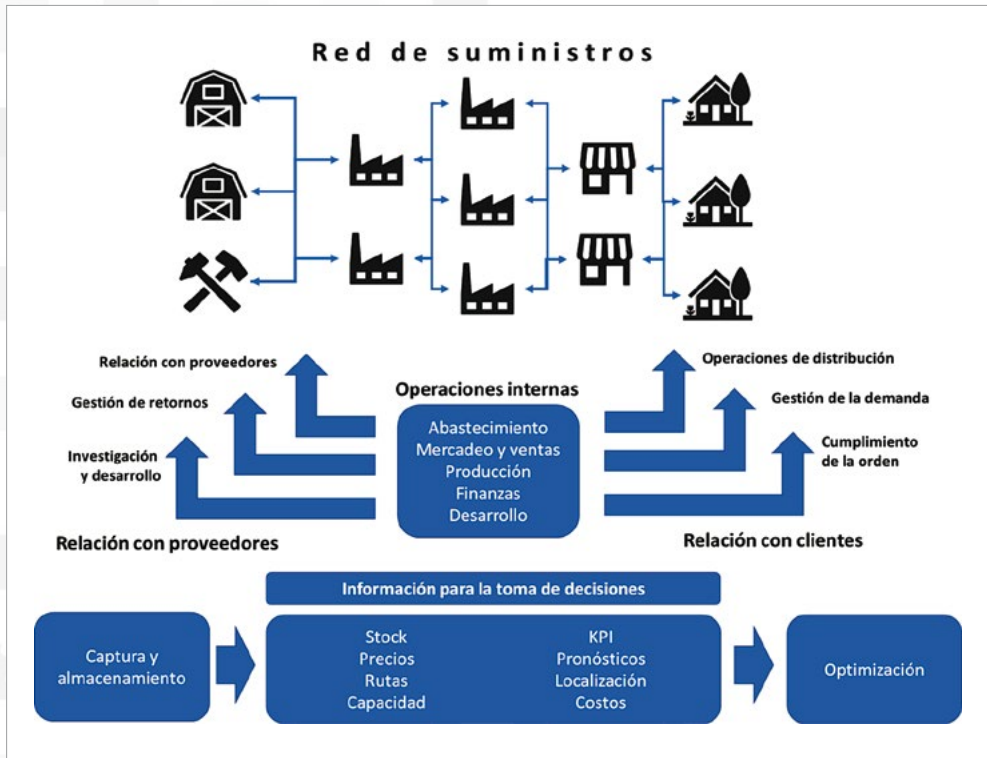


Figura 21 Esquema de procesos de una Red de Suministros.

Fuente: Elaboración propia (2020).

Proceso de distribución logística

En logística, la distribución es una etapa de los procesos de la cadena de suministro que organiza y ejecuta las actividades para hacer la entrega final de productos y servicios a clientes, incluyendo almacenaje y entrega. La “Distribución” es una de las últimas etapas de las actividades logísticas en la cadena, normalmente precedida por el almacenamiento y sucedida por las acciones de servicio al cliente y retorno.

La importancia de la logística de distribución radica en dos perspectivas. Por una parte, constituye una de las etapas de encuentro presencial con el cliente, al hacer entrega de su solicitud de acuerdo con las condiciones pactadas. Por otro lado, su alta complejidad obliga a tener en cuenta disponibilidad de productos, vehículos, despachadores, horarios de entrega y de recepción, restricciones vehiculares, tiempos de transporte máximos, entre otros.

Desde la perspectiva de la investigación de operaciones, el problema de distribución de productos se ha abordado como un problema de definición de las rutas óptimas

de rutas de vehículos. Lozada y Cadena (2012) plantean que existen dos tipos de problemas basados en el modelamiento en logística. Los problemas de decisión, en los que se establecen un conjunto de alternativas o variables de decisión al problema, y los problemas de optimización, que hallan la mejor opción existente en el conjunto completo de alternativas. El modelo logístico de distribución es un problema de optimización combinatoria, ya que las variables que caracterizan las rutas, los vehículos y los clientes son de naturaleza discreta y se relacionan de muchas maneras unas de otras: un vehículo puede recorrer una ruta definida para visitar un cliente definido, o el mismo vehículo puede ser usado para recorrer otra ruta y visitar el mismo cliente, etc. El objetivo es encontrar la mejor distribución de los recursos de tal manera que se optimice o mejore la función que los define.

Por su carácter combinatorio, los problemas de transporte representan un reto importante para los tomadores de decisiones, no solamente por la importancia de su resultado, sino por la complejidad para obtener su solución. “El número de interrelaciones de las variables discretas en los problemas combinatorios puede llegar a ser tan grande, que la técnica usada para resolverlo tardaría una cantidad exorbitante de tiempo de cómputo explorando el universo de configuraciones; por eso, el tiempo computacional que usa una técnica para arrojar una respuesta es una condición muy importante a la hora de seleccionar un algoritmo de solución” (Lozada Díaz & Cadena González, 2012).

Los problemas de distribución logística y ruteo como el problema del agente viajero (TSP por sus siglas en inglés: *Travelling Salesman Problem*), el problema de ruteo de vehículos (VRP por sus siglas en inglés: *Vehicle Routing Problem*) o el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés: *Vehicle Routing Problem with Time Windows*), son problemas de orden *NP-Hard* debido a la dificultad que se tiene para enumerar todas las posibles soluciones. Esto se fundamenta en las múltiples interrelaciones de sus variables y el tamaño que los conjuntos de datos de entrada del modelo.

El problema de distribución física de alimentos es coherente con el problema de ruteo de vehículos (VRP). Por esta razón, es importante realizar una descripción del modelamiento matemático de este tipo de problemas. La versión más sencilla del problema de ruteo de vehículos es el problema TSP. Este problema constituye la situación de partida para formular otros problemas combinatorios más complejos, aunque más prácticos, como el ruteo de vehículos y la programación de tareas dependientes del tiempo de alistamiento (Daza Escorcía et al., 2009). En el TSP se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera no se distingue de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales (Olivera, 2004, p. 4). La mayor parte de los problemas de ruteo de vehículos provienen del TSP.

El Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) se enfoca en determinar cuáles son las mejores rutas para la entrega de productos, y de qué manera se deben distribuir los recursos existentes para atender a esas rutas. “En estos problemas N clientes tienen que ser atendidos por los vehículos con una capacidad limitada desde un depósito común. Una solución consiste en un conjunto de rutas, donde cada vehículo comienza y termina en un mismo depósito después de visitar un subconjunto de clientes. Cada cliente es visitado exactamente una vez. Un problema específico es considerado un problema de ruteo de vehículos (VRP) si se presenta una restricción en el número de los clientes visitados por un vehículo” (Taha, 2017). Los criterios para la optimización incluyen la minimización del tiempo utilizado, distancia recorrida y recursos económicos gastados en la operación de distribución.

La literatura presenta varios casos de aplicación del problema VRP en el entorno colombiano. No obstante, en la mayoría de casos, estas aplicaciones han estado orientadas a las grandes empresas, ampliando la brecha competitiva del entramado organizacional (Arboleda Zúñiga et al., 2016). Estos casos por lo general utilizan derivaciones del VRP en función de las restricciones, decisiones y objetivos a alcanzar:

- *VRP con ventanas de tiempo (VRPTW)*. El problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo se ha convertido en una de las prácticas más utilizadas ya que las ventanas de tiempo se generan para los requerimientos de los clientes que necesitan que la entrega y recogida se den en una hora específica, que viene determinada por una hora temprana y otra tardía de servicio (Lozada Díaz & Cadena González, 2012).
- *VRP limitado por capacidad (CVRP)*. Para este problema cada vehículo tiene una capacidad máxima para transportar que es generalmente conocida (Arboleda Zúñiga et al., 2016).
- *VRP con restricciones de distancia, capacidad y tiempo (DCVRP)*. En este problema las restricciones de capacidad del vehículo y de distancia deben ser cumplidas obligatoriamente. Los vehículos no deben exceder la distancia que se les ha establecido (Arboleda Zúñiga et al., 2016).
- *VRP con entrega dividida (SDVRP)*. El SDVRP permite que varios vehículos puedan atender a un mismo cliente, esta entrega ayuda a reducir los costos totales. El SDVRP es bastante importante si los tamaños de las órdenes de los clientes son grandes en comparación con la capacidad de los vehículos (Arboleda Zúñiga et al., 2016).
- *VRP con despacho y recolección (VRPPD)*. En este problema las empresas tienen que recolectar y entregar bienes en cantidades específicas para cada cliente visitado. Los clientes pueden devolver productos (Bustos Rosales & Jiménez Sánchez, 2014).
- *VRP con demandas estocásticas (VRPSD)*. En esta versión existe incertidumbre acerca de la demanda y los tiempos de viaje de los vehículos (Arboleda Zúñiga et al., 2016).

CASO PARTICULAR: DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS CON VENTANAS DE TIEMPO

Para presentar la aplicación de herramientas de software de código abierto en problemas empresariales, se abordará el caso de una empresa que debe organizar la distribución de productos alimenticios en cortos periodos de tiempo. Este proceso, reconocido en la literatura como *food delivery* o entregas a domicilio de alimentos preparados, se asume dentro de un sistema de distribución centralizado o desde la fábrica al cliente.

Se abordó este problema desde la perspectiva de una empresa dedicada a la elaboración y distribución de productos alimenticios preparados. La principal problemática del proceso logístico de este tipo de organizaciones se da en el área de distribución de productos. La demanda diaria de productos a ser distribuidos a clientes en un periodo de tiempo fijo es altamente cambiante. El proceso de distribución se lleva a cabo bajo criterios de eficacia, mas no de eficiencia. Se acude normalmente a operarios que se transportan en bicicletas o motocicletas, pero se les delega la operación de la distribución sin criterios de reducción de costos o minimización eficiente de los tiempos de entrega. Una muestra de este problema consiste en la acumulación de pedidos sin despachar. Al medio día, se alcanzan hasta 38 pedidos acumulados (Figura 22).

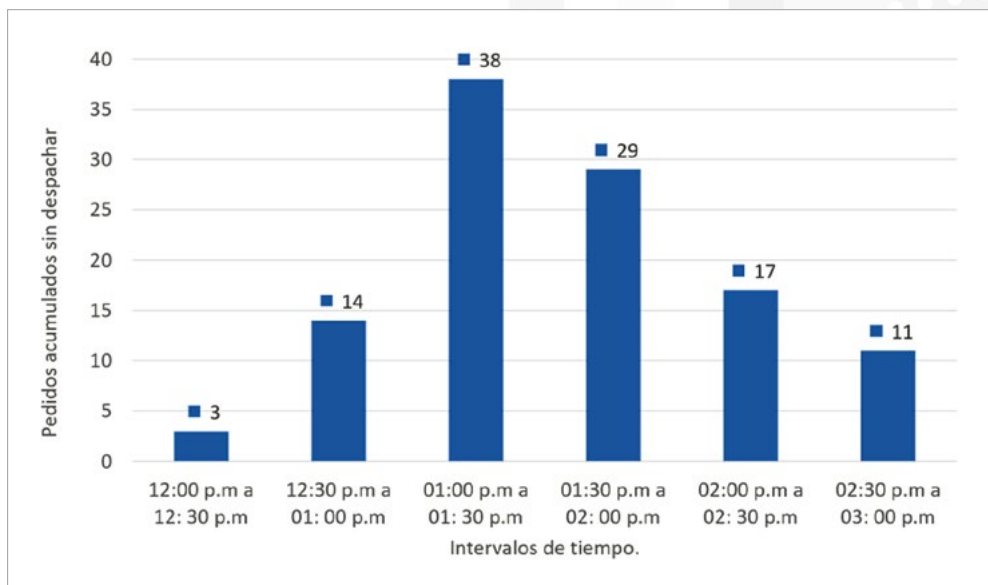


Figura 22 Acumulación de pedidos en la zona de despacho por hora

Fuente: Elaboración propia (2019).

Una de las principales complejidades del proceso es la posibilidad de afrontar rechazos de pedidos si éstos son entregados por fuera de un horizonte de tiempo normalmente establecido en 30 minutos luego de que el cliente haya solicitado su producto. Una encuesta realizada a clientes y trabajadores de la empresa permitió identificar como principales problemáticas las demoras en la entrega de pedidos (40% de los clientes considera que el servicio del tiempo de llegada es regular), alto número de devoluciones (67% de los empleados considera que las devoluciones de los domicilios son por demora en la entrega), estándares no claros para los tiempos de entrega y el uso de unas rutas no estandarizadas (50% de los empleados no conoce cuál es el tiempo de entrega por zona asignada de distribución) (Pineda Mora & Buitrago Martín, 2019, p. 72).

Las principales variables que condicionan este sistema son:

- Ubicación geográfica de nodos de oferta y demanda.
- Número de clientes que se quieren abastecer.
- Requerimientos técnicos de los productos.
- Nivel de servicio reflejado para este caso en la rapidez con la que se quiere abastecer.
- Medios de transporte requeridos.

Para poder unificar los criterios que brindan estas variables, se optó por elaborar una representación aproximada de los procesos reales en un sistema logístico de distribución (Lozada Díaz & Cadena González, 2012). El sistema de distribución de alimentos fue modelado bajo la lógica de un VRP. Se identificaron parámetros, variables y restricciones con las que cuenta la empresa estudiada. Dentro de estos se han considerado aspectos como la capacidad del vehículo, la ventana de tiempo acordada con el cliente, la demanda y otros que permiten la formulación y el desarrollo del modelo.

El objetivo del modelo es minimizar las distancias del recorrido asignado a cada ruta que se debe tomar para así llegar al cliente final. La formulación desarrollada para este problema está basada en la construcción de Restrepo, Medina y Cruz (Restrepo et al., 2008) quienes desarrollaron una aplicación del problema VRP con ventanas de tiempo para la distribución de alimentos en un total de 20 clientes para atender. A continuación, se presenta la construcción matemática del modelo.

Sean:

i : Nodos origen ($i = 1, 2 \dots n$).

j : Nodos destino ($j = 1, 2, \dots, n$).

n : Nodos totales en la red (clientes).

k : Vehículos disponibles para la distribución ($k=1,2,3,4,5,6$; el máximo número de vehículos es $K = 6$).

Se consideran las siguientes variables:

$x_{ij}^k = 1$ si se asigna el vehículo k para recorrer el arco del nodo i al nodo j o cero (0) en cualquier otro caso.

$y_{ij} = 1$ si se realiza el recorrido desde i hasta j o cero (0) en cualquier otro caso.

P_i = Tiempo de inicio del servicio para el cliente i .

P_j = Tiempo de fin del servicio para el cliente j .

Los parámetros asignados son:

c_{ij} = Distancia o costo del traslado desde el nodo i al nodo j .

d_j = Demanda del nodo j .

μ = Capacidad de los vehículos.

n = Número de clientes.

S_i = Tiempo del servicio (entrega) en el nodo i .

a_i = Tiempo de inicio de la ventana de tiempo para el cliente i .

b_i = Tiempo de cierre de la ventana de tiempo para el cliente i .

t_{ij} = Tiempo de traslado desde el cliente i hasta el cliente j .

M_{ij} = Constante usada para linealizar el modelo.

U_i = Indica el acumulado de la demanda ya distribuida por el vehículo al llegar al cliente i .

U_j = Indica el acumulado de la demanda ya distribuida por el vehículo al llegar al cliente j .

El objetivo del modelo consiste en minimizar el costo total de traslados de la operación bajo las restricciones de ventanas de tiempo y capacidad. El modelo matemático aplicado consiste en:

$$\text{Min } Z = \sum_{i,j=1}^n c_{ij} y_{ij}$$

La función objetivo busca disminuir las distancias totales de cada recorrido, haciendo el producto punto de la matriz de distancias por el vector de variables de decisión y_{ij} . Sujeto a:

$$\sum_{1 \leq k \leq K} x_{ij}^k = y_{ij} \quad ; \quad \forall i, j \quad (1)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} y_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} x_{ij}^k = 1 \quad ; \quad \forall i, k \quad (2A)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} x_{ij}^k = 1 \quad ; \quad \forall j, k \quad (3A)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} y_{0,j} = K \quad (4)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{i,0} = K \quad (5)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} x_{ij}^k - \sum_{1 \leq i \leq n} x_{ji}^k = 0 \quad \forall k, j \quad (6)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq n} d_i x_{ij}^k \leq \mu \quad ; \quad \forall k \quad (7)$$

$$M_{ij} (x_{ij}^k - 1) + (P_i + S_i + t_{ij} - P_j) \leq 0 \quad (8)$$

$$a_i \sum_{1 \leq j \leq n} x_{ij}^k \leq P_i \leq b_i \sum_{1 \leq j \leq n} x_{ij}^k \quad ; \quad \forall i, k \quad (9)$$

$$(U_i - U_j) + \mu X_{ij}^k \leq \mu d_j \quad (10)$$

$$Y_{ij}^k \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall (i,j) \quad (11)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall (i,j) \quad ; \quad \forall k \quad (12)$$

La restricción (1) realiza la asignación de uno de los k vehículos a la ruta (i, j) que hace parte de la solución. Desde cada nodo origen i debe salir una única ruta (2). Esta última restricción se complementa con la condición de que ese arco es cubierto por un único vehículo (2 A). Las restricciones (3) y (3 A) plantean esta lógica de manera análoga para los nodos destino. Las condiciones en el origen acerca del número de rutas que pueden surgir y regresar están restringido por las expresiones (4) y (5). La restricción (6) asegura la continuidad de cada ruta y adicionalmente que cada una

de ellas comience y termine en el mismo nodo. Así, la suma de los arcos salientes y entrantes a un nodo j para un vehículo k tiene que ser cero. La restricción (7) restricción garantiza que los vehículos cubran la demanda y no sobrepasen la capacidad máxima μ de cada vehículo k .

La sumatoria del tiempo de inicio (P_i), tiempo de servicio (S_i) y el tiempo de un cliente hasta otro (t_{ij}), tiene que ser menor al tiempo de inicio del siguiente cliente (P_j) para cada caso en que la asignación de un vehículo k a un arco ij sea uno (1). Dado que esto implicaría una no linealidad en el modelo se optó por multiplicar esa expresión de tiempos por la combinación resultando así en la restricción (8).

Para garantizar que se cumplan las entregas en la ventana de tiempo se utiliza la restricción (9) Garantiza que los vehículos cumplan con las ventanas de tiempo. Finalmente, la restricción (10) representa el uso de restricciones MTZ para evitar la aparición de subciclos en la solución del problema. Las restricciones (11) y (12) aseguran la naturaleza binaria del problema.

IMPLEMENTACIÓN Y USO DE SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO

La empresa en donde se desarrolla esta aplicación es catalogada como una “Pequeña y mediana empresa” (PYME). Su capital de trabajo no le permite efectuar inversiones importantes en aplicativos que le ayuden a descongestionar su proceso de distribución de pedidos. Para efectos de validar la conveniencia de utilizar herramientas de código abierto se propuso la implementación del complemento OpenSolver (Mason, 2012) para MS Excel. Este complemento permite utilizar el motor de optimización CBC entre otros para resolver problemas de optimización lineal y entera a través de la técnica de *Branch and Cut*.

Esta herramienta ha sido utilizada en diversas áreas de investigación de operaciones. En logística humanitaria, se desarrolló una aplicación para atención post desastre en casos de terremotos para un pequeño municipio en Colombia (Barragán Acevedo et al., 2019). En el sector salud se destaca el caso de la distribución de muestras en un banco de sangre utilizando programación biobjetivo (Osorio Muriel et al., 2014). Finalmente, en materia de transporte, también se destaca el trabajo de relocalización de vehículos tipo taxi para mejorar la atención al cliente utilizando programación matemática (Arteta Barrios & Meriño Púa, 2018).

Con respecto a su licenciamiento, OpenSolver está cubierto por la licencia GNU General Public License (GPL) la cual permite un uso libre sin limitaciones de uso comercial del software siempre y cuando sus derivaciones sean también protegidas por la misma licencia (gnu.org, 2020).

Habiendo validado la utilidad de esta herramienta en la solución de problemas de programación matemática, se abordó la parametrización del problema para la empresa bajo estudio. Algunas de sus características son:

- Demanda diaria estimada: 10 clientes cada 30 minutos
- Flota de domiciliarios constante: dos vehículos
- La capacidad constante de pedidos a despachar por cada vehículo: 10 unidades
- Se encuentran cinco zonas de distribución
- Ventana de tiempo: 30 min.
- Tipo de vehículos: Bicicletas.

Esta parametrización arrojó un total de 427 variables. A continuación, se presenta una descripción del funcionamiento de esta implementación.

Inicialmente se construyó una matriz de distancias (Tabla 8) para los clientes que solicitan pedidos a las diferentes zonas. El despacho de pedidos inicia desde las 12:00 M. hasta las 3:00 P.M. En promedio cada treinta minutos deben ser atendidos 10 clientes. La empresa cuenta con un total de 60 distribuidos en la zona de incidencia.

Tabla 8 *Matriz de distancias (metros).*

Clientes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	1E+05	350	350	103	300	1200	800	2100	950	900	750
B	350	1E+05	69	250	280	1200	850	1900	800	1200	800
C	350	69	1E+05	300	350	1100	800	1900	750	1200	700
D	103	250	300	1E+05	220	1300	900	2200	1100	950	1100
E	300	280	350	220	1E+05	1400	1000	2200	1100	950	1100
F	1200	1200	1100	1300	1400	1E+05	750	1700	650	1700	500
G	800	850	800	900	1000	750	1E+05	2200	1000	1000	650
H	2100	1900	1900	2200	2200	1700	2200	1E+05	2000	2900	1900
I	950	800	750	1100	1100	650	1000	2000	1E+05	1700	350
J	900	1200	1200	950	950	1700	1000	2900	1700	1E+05	1400
K	750	800	700	1100	1100	500	650	1900	350	1400	1E+05

Fuente: Elaboración propia., 2019.

Adicionalmente se debe tener en cuenta la cantidad de pedidos por cada cliente (Ver Tabla 9). Esta información es registrada en términos de las demandas (d_i), y los tiempos de servicio (s_i) que corresponden a la demora en la entrega del domicilio. La ventana de tiempo es el tiempo máximo en el que se debe entregar el pedido. Se define entonces a partir del tiempo de inicio (a_i) y tiempo final (b_i). Para el caso de

estudio se estableció el parámetro de 30 minutos como ventana de tiempo. Este es el tiempo máximo que se puede demorar la entrega de un pedido.

Tabla 9 *Parámetros de pedido (minutos).*

Clientes	Demanda (di)	Tiempo de servicio (si)	Tiempo de inicio de la ventana de tiempo	Tiempo final de la ventana de tiempo
A	0			
B	2	4	0	30
C	1	6	0	30
D	2	10	0	30
E	2	8	0	30
F	1	10	0	30
G	2	12	0	30
H	2	2	0	30
I	3	8	0	30
J	1	4	0	30
K	4	4	0	30

Fuente: Elaboración propia., 2019.

Como resultado de lo anterior se obtiene la matriz de recorrido para cada uno de los vehículos asignados para cada zona. Esta matriz es de variables binarias y allí se da la solución general para los dos vehículos. Si el valor de la variable es uno (1) sí se realiza el recorrido, de lo contrario es cero (0) (tabla 10).

Tabla 10 *Ejemplo de matriz de recorridos para vehículo 1.*

Recorrido Vehículo 1 (x1ij)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Suma
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
I	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Fuente: Elaboración propia., 2019

El resultado final de la ejecución del modelo permite obtener una ruta para cada vehículo en funcionamiento de tal manera que se identifica a qué clientes debe visitar para la entrega de los pedidos realizados. De manera previa a la implementación de la solución, la operación de entrega de pedidos era realizada con un promedio de 107 pedidos entregados diarios y 2.3 pedidos por cada ciclo realizado. Con el fin de evaluar la pertinencia y utilidad del ejercicio, es necesario realizar una comparación entre las rutas normalmente utilizadas por la empresa y la propuesta de rutas obtenidas a partir del modelo de programación matemática.

La implementación real de la solución obtenida se desarrolló con un proceso de acompañamiento al equipo logístico de distribución. Una vez instaladas las hojas de cálculo respectivas y el complemento de OpenSolver en los equipos de cómputo, se diseñaron talleres que simularon la operación e involucraron al personal en la digitación de información, obtención de solución y su análisis. Algunas recomendaciones adicionales fueron surgiendo como la georreferenciación de las rutas, el diseño de formatos de guía de entrega para los operarios de despacho y la inclusión de otras variables asociadas a la priorización de pedidos.

Una vez realizada la implementación se avanzó en la puesta en marcha de nuevo esquema de distribución. La solución obtenida con el modelo permitió incrementar el uso de la capacidad de los vehículos pues normalmente se cargaban los productos para visitar a entre 1 y 3 clientes, mientras que en las nuevas rutas establecidas se pueden visitar hasta seis clientes dentro de las ventanas de tiempo (ver tabla 11).

Tabla 11 Ruta propuesta a ser realizada en la distribución.

Vehículo		Hora
1		12:00-12:30
<i>Orden</i>	<i>Salida</i>	<i>Llegada</i>
1	A	F
2	F	G
3	G	H
4	H	E
5	E	K
6	K	A

Fuente: Elaboración propia., 2019.

Los resultados obtenidos hablan de pasar de 2,3 clientes promedio visitados por ciclo a 9,3 clientes visitados por ciclo. De otro lado el tiempo promedio de entrega

de pedidos pasó de 7,16 minutos por domicilio a 3,25 minutos por domicilio. Se alcanzó una mejora en el tiempo de entrega en un 45,39%.

Otros beneficios obtenidos por la implementación de la solución consisten en:

- Ahorro de 117 horas de trabajo mensuales por la flota de distribuidores.
- Disminución de los rechazos y devoluciones de los clientes en un 6,72%
- Aumento en el uso de capacidad utilizada de los vehículos pasando de un 40% a un 93%

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La solución obtenida permitió a la organización mejorar sensiblemente en la operación de distribución de sus productos. La disminución en los tiempos de entrega, así como la utilización de los vehículos fue corroborada con un sondeo hacia clientes quienes manifestaron un mayor nivel de satisfacción. De otro lado, las directivas de la organización evidenciaron un mejor aprovechamiento de sus recursos a partir de las tres acciones desarrolladas: implementación del modelo matemático, mejora en la capacidad de los vehículos y capacitación al personal para el uso de estas herramientas.

La capacitación al personal encargado de la operación logística resultó ser el punto de apoyo para lograr las mejoras esperadas. La gerencia identificó que, dado el tamaño de la organización, era mucho más importante invertir en la capacitación de su personal logístico que en complejas y costosas soluciones que a pesar de su eficiencia computacional, no se ajustarían a los reales requerimientos.

Es importante señalar la complejidad de este proceso. Para escenarios con más de 20 clientes y más de cinco vehículos, el modelo desarrollado con OpenSolver tomó más de una hora en la obtención de una solución óptima. Naturalmente esta opción no es aplicable en tanto que la naturaleza del negocio requiere de una solución inmediata en la medida en que van llegando los pedidos. OpenSolver se ajustó adecuadamente al tamaño de la organización brindando una solución pronta para una instancia de baja complejidad con solo 10 clientes y 2 vehículos.

Algunas variables que no fueron tenidas en cuenta en este proceso y que podrían incidir en los resultados tienen que ver con el uso de tamaños variables de capacidad en la flota de vehículos, distintas velocidades de cada vehículo y priorización de algunos pedidos en función de la cantidad de productos por pedido. Estas condiciones le brindarían más complejidad al modelo, y probablemente requerirían una herramienta más potente que OpenSolver.

CONCLUSIONES

Las pequeñas y medianas empresas cuentan con limitaciones en su presupuesto y en su capacidad logística para implementar herramientas de software que les permitan optimizar muchas de sus operaciones. Ante estas dificultades, la respuesta se ha concentrado en el logro de la eficacia operativa sin considerar la medición de la eficiencia. Este capítulo hace énfasis en las ventajas que trae consigo la implementación de aplicaciones de código abierto como soluciones a los problemas logísticos de este tipo de empresas.

Un problema de común evidencia en PYMES consiste en el diseño de rutas para distribución de productos o servicios. Su solución es un aspecto que beneficia a la mayoría de las organizaciones que se encargan de distribuir un producto, es un elemento significativo que proporciona calidad al servicio prestado.

El estudio se enfocó en la implementación de una solución basada en software de código abierto para una empresa pequeña en sus procesos de distribución de productos. Se configuró un problema de ruteo con ventanas de tiempo utilizando el modelo VRPTW y la solución al problema se obtuvo a través de una parametrización de las variables del proceso, la capacitación al personal de la organización y la implementación del complemento OpenSolver en hojas de cálculo de Excel.

La mejora que se obtuvo del modelo y de la implementación de este fue la minimización de los tiempos de entrega de los domicilios por medio de las rutas obtenidas. Se pasó de atender a un solo cliente a cinco o seis por vehículo. Las limitaciones del aplicativo no impidieron que se pudiera implementar en la organización dado su tamaño.

Otras aplicaciones de software libre tienen un gran potencial de ser implementadas en organizaciones pequeñas. Problemas de localización, ruteo y diseño de almacenes son abordados por la plataforma de soluciones del profesor Günes Erdogan a partir de la construcción de hojas de cálculo especializadas con algoritmos de solución basados en búsqueda tabú y búsqueda amplia de vecindarios (Erdogan et al., 2019).

Un campo de acción relevante es el de la aplicación de modelos de simulación en pequeñas organizaciones con base en software de código abierto. Simpy, OM-NeT, JaamSim y JAPROSIM son algunos ejemplos señalados en la literatura como paquetes de software con potencial uso para casos reales en la modalidad de código abierto (Dagkakis & Heavey, 2016).

En un nivel más avanzado se pueden encontrar los *solver* especializados como GLPK, CBC o CMLP que junto a intérpretes como Pyomo (Hart, 2017) o Pulp (Mitchell et al.,

2011) pueden brindar soluciones más flexibles a los requerimientos de las organizaciones. En opinión de los autores, se requiere una fuerte alianza entre universidades y PYMEs para poder difundir ampliamente el uso de estas herramientas. De esta manera se estaría aportando con conocimiento a la eficiencia de sus procesos con el valor adicional de la formación de colaboradores en las áreas respectivas.

TRABAJO EN AULA PROPUESTO

- 1) Lea el artículo “El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas”.
- 2) Plantee el modelo en Excel utilizando los datos que se dispusieron este capítulo
- 3) Revise los resultados y compárelos con los obtenidos en este capítulo.
- 4) Analice los resultados y concluya.

BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda Zúñiga, J., López, A. X., & Lozano, Y. L. (2016). El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas. *Ingenium*, 10(27), 29-36.
- Arteta Barrios, W. J., & Meriño Púa, J. J. (2018). Evaluación del sistema de relocalización de vehículos de servicio público tipo taxi de una empresa en la ciudad de Barranquilla. Universidad de la Costa.
- Aytug, H., Khouja, M., & Vergara, F. (2003). Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: A review. *International Journal of Production Research*, 41(17), 3955-4009.
- Barragán Acevedo, J., Castañeda Tenjo, L. B. R., & Fuentes, E. Á. (2019). Development of mathematical model of logistics humanitarian assistance with resilience to risk management in earthquakes and earthquakes in Caqueza, Cundinamarca. *Ingeniería Solidaria*, 15(1), 1–33. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01.02>
- Bermeo Muñoz, E., & Calderón Sotero, J. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El hombre y la máquina*, XXI(32), 52-67.
- Bustos Rosales, A., & Jiménez Sánchez, E. (2014). Modelos para un mejor ruteo vehicular. *Revista Énfasis*. <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/69225-modelos-un-mejor-ruteo-vehicular>
- Dagkakis, G., & Heavey, C. (2016). A review of open source discrete event simulation software for operations research. *Journal of Simulation*, 10(3), 193-206. <https://doi.org/10.1057/jos.2015.9>
- Danz, V. C. C. editorial de M., Partners, O. D. a D. E., & Tecnológico, M. Y. F. P. P. E. E. C. D. D. (2020, febrero 5). Cloud sobredimensionado: El 44% de los recursos no se utilizan. *MuyCanal*. <https://www.muycanal.com/2020/02/05/cloud-sobredimensionado-recursos-no-utilizados>
- Daza Escorcía, J., Montoya-Torres, J., & Narducci Marín, F. (2009). Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237, No. 12, 2010, pags. 23-38, 12.
- Eje21. (2019). 9 de cada 10 personas pide domicilios en Colombia. *Eje21*. <https://www.eje21.com.co/2019/12/9-de-cada-10-personas-pide-domicilios-en-colombia/>
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.05.009>

- Erdoğan, G., Stylianou, N., & Vasilakis, C. (2019). An open source decision support system for facility location analysis. *Decision Support Systems*, 125, 113116.
- Gallo, G. (2004). Operations research and ethics: Responsibility, sharing and cooperation. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 468-476. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00167-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00167-X)
- gnu.org. (2020). Licencias GNU. Licencias GNU. <https://www.gnu.org/licenses/licenses.es.html>
- Gong, W., & Fu, Z. (2010). ABC-ACO for perishable food vehicle routing problem with time windows. 2010 international conference on computational and information sciences, 1261-1264.
- Guevara Benavides, L. M. (2018). Los cinco argumentos que explican el auge del negocio de los domicilios. *La República*. <https://www.larepublica.co/empresas/las-cinco-razones-que-explican-el-auge-del-negocio-de-domicilios-2608774>
- Hart, W. E. (2017). *Pyomo-Optimization modeling in Python*. Springer Science+Business Media.
- Lambert, D., & Cooper, M. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial marketing management*, 29, 65-83.
- Lougee-Heimer, R. (2003). The Common Optimization INTERface for Operations Research: Promoting open-source software in the operations research community. *IBM Journal of Research and Development*, 47(1), 57-66. <https://doi.org/10.1147/rd.471.0057>
- Lozada Díaz, A., & Cadena González, R. (2012). Solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos [Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/144179.pdf>
- Martin, K. (2010). Tutorial: COIN-OR: Software for the OR Community. *Interfaces*. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.1100.0534>
- Mason, A. J. (2012). OpenSolver—An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. En D. Klatte, H.-J. Lüthi, & K. Schmedders (Eds.), *Operations Research Proceedings 2011* (pp. 401-406). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64
- Mitchell, S., Consulting, S. M., & Dunning, I. (2011). *PuLP: A linear programming toolkit for python*.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. <https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

opensource.org. (2020). Open Source Initiative. <https://opensource.org/>

Osorio Muriel, A. F., Brailsford, S., & Smith, H. (2014). A bi-objective optimization model for technology selection and donor's assignment in the blood supply chain. *Sistemas y Telemática*, 12(30), 9. <https://doi.org/10.18046/syt.v12i30.1854>

Pineda Mora, F. C., & Buitrago Martín, A. (2019). Sistema de Distribución de Productos Bajo Restricciones de Ventanas de Tiempo: Aplicación en El Restaurante Parrilla Mulata [Tesis de pregrado de Ingeniería Industrial, Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17972>

Restrepo, J., Medina, P., & Cruz, E. (2008). Un problema logístico de programación de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW). *Scientia et Technica*, 2(39). <https://doi.org/10.22517/23447214.3195>

Saltzman, M. J. (2002). Coin-Or: An Open-Source Library for Optimization. En S. S. Nielsen (Ed.), *Programming Languages and Systems in Computational Economics and Finance* (pp. 3-32). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1049-9_1

Taha, H. A. (2017). *Operations research an introduction* (Tenth edition). Pearson.

Tunjongsirigul, B., & Pongchairerks, P. (2010). A Genetic algorithm for a vehicle routing problem on a real application of Bakery delivery. 2010 2nd international conference on electronic computer technology, 214-217.

GLOSARIO

- *TSR*: (TSP por sus siglas en inglés: *Travelling Salesman Problem*). Los problemas de distribución logística y ruteo como el problema del agente viajero (TSP por sus siglas en inglés: *Travelling Salesman Problem*).
- *VRP*: el problema de ruteo de vehículos (VRP por sus siglas en inglés: *Vehicle Routing Problem*)
- *VRPTW*: o el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés: *Vehicule Routing Problem with Time Windows*).
- *NP-HARD*: son problemas de orden debido a la dificultad que se tiene para enumerar todas las posibles soluciones. Esto se fundamenta en las múltiples interrelaciones de sus variables y el tamaño que los conjuntos de datos de entrada del modelo.

Sistema de gestión comercial para productos agroindustriales

Ever A. Fuentes¹⁶

¹⁶ Ingeniero Industrial, E-mail: ever.fuentes@unilibre.edu.co



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el estado, las alcaldías, las entidades municipales y los productores de productos agrícolas han unidos esfuerzos para mejorar la calidad a través de la implementación de buenas prácticas de producción que impacten en las operaciones que se realizan a lo largo de la cadena, sin embargo, no se ha logrado tener acceso a nuevos mercados que permita comercializar los excedentes de producción lo que genera pérdidas del proceso.

Una de las entidades que ha llevado el liderazgo en el proceso de investigación de estrategias productivas agrícolas es la Universidad Nacional de Colombia en su sede de Bogotá, Manizales y Medellín, quienes desde el año 2012 han trabajado temas como agendas prospectivas y procesos de comercialización de productos agrícolas y sus derivados.

Las condiciones de negociación en los diferentes mercados activan las operaciones logísticas que permitan llevar los productos en las mejores condiciones y en los tiempos requeridos por los clientes.

A continuación, se hace una descripción del proceso metodológico que se llevó a cabo para el desarrollo de un sistema de gestión comercial para productos agroindustriales.

Se trabaja en 16 municipios del departamento de Cundinamarca, donde se seleccionan los productos representativos gracias al apoyo de los estudiantes del semillero Saiop. A continuación, en la tabla 12 se presenta la lista de los estudiantes, quienes actualmente son profesionales que participaron en el proceso.

Tabla 12 Base de datos.

N.º	Municipio	Producto	Integrantes
1	Mesitas	Mango y flores exóticas	Andrés Felipe Corredor Vega
2	Tena	Mandarina	Martha Patricia Martínez Mora
			Luis Enrique León Bustos
3	Madrid	Lechuga	Diana Carolina Rincón Díaz
			Jennifer Tatiana Ariza López
4	La Vega	Naranja	Miguel Ángel Fajardo Chavarro
			Cristian Ferney Cruz Moreno
5	Cota	Espinaca	Jhon Iván Morales
			Yeimy Astrid Daza Chávez
6	El Rosal	Fresa	Andrés Camilo Martínez Velandia
7	Fómeque	Huevos, habichuela y Tomate	William Mauricio Figueredo Barón
			David Leonardo Reina Ruiz
8	Fusagasugá	Tomate de árbol	Jhon Alexander Romero Casallas
9	La Mesa	Banano, limón y miel	Jhon Alexander Díaz Rueda
10	Mosquera	Apio y coliflor	Luis Miguel Cogua Nova
			Alejandro Dávila Castañeda
11	Nocaima	Yuca	Ricardo Puentes Robayo
12	Pasca	Mora	Camilo Alexander Hernández Rincón
			Andrea Isabel Pérez Díaz
13	Tenjo	Carne de conejo y ovejón	Edna Liliana Cuchimaque Cuevas
			Sandra Viviana Escobar Velasco
14	Tibiritá	Durazno	Esmeralda Combita López
			Lina Rocío Rincón Aristizábal
15	Usme	Arveja y papa	Daniel Mauricio Buitrago Martín
			Angélica Viviana Poblador Castro
16	Vergara	Panela	Julián Felipe Pachón Hernández
			Diego Hernán Rivera Flores

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se realizan consultas en las bases de datos nacionales e internacionales para evaluar el estado actual del sector, como la información no es muy actualizada, se genera un instrumento que permite recolectar la información, para ello se hace un muestreo aleatorio simple para determinar el número de encuestas a realizar.

Una vez tabulada la información, se aplican 4 herramientas de análisis: DOFA, matriz de vester, Pestel y el diamante de Porter, lo que permite identificar las principales falencias del proceso comercial que se lleva en el sector.

Se realiza el análisis de la demanda a partir de la información recolectada en las bases de datos de diferentes universidades, del Ministerio de Agricultura y de entidades internacionales. Se trabaja a nivel local, nacional e internacional los ítems de producción, exportación e importación de los últimos 10 años por producto. Posteriormente, se hace un pronóstico para los próximos 3 años y se establecen los mercados potenciales y reales.

Con los análisis realizados y la proyección de la demanda se procede a realizar el análisis del comportamiento del consumidor, terminando con la segmentación del mercado a través de proceso de geomarketing. Es importante establecer los motivadores de los consumidores y la cultura que se lleva en el proceso de compra de los productos agroindustriales.

Ahora, se trabaja la mezcla de mercadotecnia (en inglés: *Marketing mix*) como una herramienta que establece estrategias que ayudan a las personas a alcanzar sus objetivos y el nivel que desea en ventas en un mercado meta (Etzel, Walker, & Stanton, 2007).

En la década de los 60, el Dr. Jerome McCarthy comenzó a introducir el concepto de las 4 P's que se constituyó por Producto, Precio, Plaza y Promoción. Pero después se incursionó con otras seis: Posicionamiento, personas, planeación, permanencia, penetración y permisos peer to peer.

Se realiza el análisis de las 10 P's, de los acuerdos comerciales y de los operadores logísticos para generar las estrategias comerciales a nivel nacional e internacional.

Por último, se utiliza la metaheurística de colonia de hormigas para analizar el comportamiento y tendencia de los consumidores. Toda la información es consolidada en un aplicativo realizado en Excel, que permite alimentar los datos y generar el consolidado para el análisis y generación del sistema de gestión comercial de los productos agroindustriales.

SISTEMA DE GESTIÓN COMERCIAL

Se considera como una serie de herramientas y técnicas relacionadas entre sí que tienen como propósito identificar, seleccionar e implementar actividades de desarrollo y oportunidades de negocio para hacerlos más rentables en toda la cadena de comercialización según el (Institute of Commercial Management (ICM)).

Los aspectos que componen la gestión comercial se enfocan en la ejecución de tareas de ventas y marketing en las cuales se destacan los estudios de los ambientes para diagnosticar los mercados y su potencialidad según los factores y características del producto, calculando de la manera más ajustada posible las previsiones de ventas.

Busca gestionar y organizar las actividades de comercio y marketing como Workshops, ferias empresariales, ponencias y eventos masivos de comercialización con el fin de encontrar y ajustar las estrategias comerciales frente a los competidores más fuertes y así alcanzar mayor provecho del intercambio de conocimientos cualitativos y cuantitativos con herramientas de minería de datos y procesamiento de datos Big Data análisis de grandes volúmenes de información comercial y de la cadena productiva.

El estudio de las características principales del mercado y el cliente para estar un paso más adelante de los competidores y ofrecerle servicios complementarios y de post-venta estableciendo las estrategias comerciales que son parte de los entregables que se radican en la organización o cliente que desee un Sistema de Gestión Comercial, en este se contemplan herramientas y contactos que aseguren la cadena comercial del producto como la logística, cumplimiento de normas de sanidad y especificaciones técnicas que se necesitan para que el producto sea vendido.

La gestión de la fuerza de ventas, incluyendo su tamaño y la con Gráfica de la estructuración, algunos temas que abarca el SGC son:

- Modelos de diseño y evaluación de estrategias comerciales.
- Modelos de toma de decisiones comerciales.
- Comportamiento del consumidor.
- Comportamiento y caracterización de la demanda.
- Simulaciones comerciales.
- Análisis y administración de Big data.
- Valor agregado para rentabilidad de productos.

10 P's del marketing

Las diez p's del marketing nacieron como complemento del mix marketing que en su conjunto sirven para hacer análisis de estrategias para conocer la situación de las empresas y poder posicionar marcas y organizaciones. Anteriormente sólo se conocían 4p's iniciales que son precio, producto, plaza y promoción. Actualmente se trabaja 10p's que son fórmula para el desarrollo comercial en la que cada un cumple papeles diferentes.

- *Producto*: Discutir y revisar las necesidades y oportunidades relacionados con el diseño, la tecnología, la utilidad, la conveniencia, el valor, la calidad, el embalaje, la marca, el tamaño, etc.
- *Precio*: Discutir estrategias de precio, como de costo incrementado, líder de pérdida, y discutir posibles aumentos de los costos (costo de los bienes, el trabajo, seguros, impuestos) y el impacto de las ventas.
- *Plaza*: Discutir y necesidades de revisión y oportunidades en relación con las operaciones de venta al por menor, al por mayor, venta por correo, internet, venta directa, multi-canal, EE.UU. frente a Europa, la sede etc.
- *Promoción*: Revisar las ofertas especiales, BOGOS, publicidad, aprobación, marketing directo, regalos gratis, Groupon etc.
- *Posicionamiento*: Discutir y revisar formas en el que sus clientes lo posicionan a usted (es todo acerca de ellos y sus creencias no las suyas), en la que desea ser colocado (por ejemplo, proveedor de bajo costo) y los planes para llegar allí.
- *Personas*: Revisión de las necesidades y oportunidades en relación con la cultura, los empleados, los internos, gestión, atención al cliente, etc.
- *Permisos y Peer to Peer*: Esta técnica anima a los clientes a participar a otros clientes mediante la promoción de un producto o servicio a sus amigos o socios. La comercialización P2P es utilizado por algunas compañías de tarjetas de crédito, que proponen recompensas a los titulares de tarjetas que aconsejan a otros para presentar las solicitudes (PMLiVE, 2016).
- *Planeación*: Proceso sistemático que comprende el estudio de las posibilidades y los recursos de una empresa, así como la fijación de objetivos y estrategias y la elaboración de un plan para ponerlo en práctica, además de llevar un control (Padilla, 2013).
- *Penetración*: Conjunto de estrategias comerciales tendientes a lograr que una compañía aumente su participación de mercado para un producto o línea de productos. La penetración de mercado puede lograrse combinando estrategias de precios, ataques a la competencia y campañas de marketing (HeadWays , 2016).

Investigación de mercados

Proceso que comprende las acciones de identificación, recopilación, análisis y difusión de información con el propósito de mejorar la toma de decisiones de marketing. Varios autores le han dado diferentes definiciones presentadas a continuación:

- Es la búsqueda de necesidades, deseos, gustos y preferencias de los consumidores en relación con un producto o servicio (Harrison, p.1).
- Consiste en la búsqueda y obtención de datos relevantes, oportunos, eficientes y exactos que tienen como objetivo reducir el riesgo en la toma de decisiones comerciales y de marketing (Del Castillo, p.19).
- La investigación en marketing comprende el conjunto de las actividades que buscan definir, recoger y analizar, de manera sistemática, información que permita alimentar el proceso de decisión en marketing, con el fin de volverlo más eficaz (d' Astous et.al, p.7).
- Es la identificación, acopio, análisis, difusión y aprovechamiento sistemático y objetivo de la información con el fin de mejorar la toma de decisiones relacionada con la identificación y la solución de los problemas y las oportunidades de marketing (Malhotra et.al, p.7).
- Es la aplicación del método científico en la búsqueda de la verdad acerca de los fenómenos de marketing. Estas actividades incluyen la definición de oportunidades y problemas de marketing, la generación y evaluación de ideas, el monitoreo del desempeño y la comprensión del proceso de marketing. Es más que la mera aplicación de encuestas, este proceso incluye el desarrollo de ideas y teorías, la definición del problema, la búsqueda y acopio de información, el análisis de los datos y la comunicación de las conclusiones y sus consecuencias (Zikmund y Babin, p.6).

Proceso de investigación de mercados:

- a) Definición del problema de marketing y objetivos de la investigación
- b) Elección y diseño del método de investigación
- c) Recolección de datos
- d) Análisis de datos

Geomarketing

Es una herramienta de marketing que permite analizar la situación de un negocio mediante la localización exacta de los clientes, puntos de venta, sucursales, competencia, localizándolos sobre un mapa digital o impreso a través de símbolos y colores personalizados (Herrera, 2013).

El mapa digital permite a los comerciantes o dueños de empresas analizar los datos por región geográfica (por ejemplo, una zona suburbana bordeando una gran ciudad) o la ubicación física específica (como una tienda en particular). La tecnología digital de hoy, con los datos de localización disponibles a través de los medios sociales y dispositivos móviles, ayuda a este enfoque de marketing a seguir aumentando en potencia y capacidad.

El geomarketing puede ser usado por cualquier tipo de negocio o empresa pues actualmente la tecnología digital está al alcance de todos, sin embargo, las empresas mejor situadas en temas de geo-comercialización son las que tienen mejor provecho de la herramienta.

En un plan de geomarketing, los datos del cliente se almacenan en bases de datos de la compañía, recopiladas de una variedad de fuentes (las transacciones en línea, dispositivos móviles, tarjetas de club, oportunidades de ventas, respuestas de correo, suscripciones, tarjetas de garantía, fuentes de terceros, etc.), estos datos se aplican a uno o varios mapas digitales.

Los datos se usan, de acuerdo con los objetivos de negocio específicos, tales como la localización de la ubicación de los clientes existentes para una nueva promoción o identificación de las variaciones regionales en los resultados de una promoción establecida.

Mediante la aplicación de diferentes herramientas de análisis, a través de la asociación cuidadosa de conjuntos de datos, se pueden identificar oportunidades claves para la estrategia de mercado.

El Geomarketing muestra detalles de los clientes, su perfil, de que diferentes segmentos y como esos clientes se distribuyen en una región, y qué tipo de cuota de mercado la empresa tiene frente a sus competidores.

Beneficios del geomarketing:

- Optimización de la inversión en acciones de marketing.
- Un mayor conocimiento de mercados y la habilidad de focalizar esfuerzos en determinados segmentos del mercado.
- Diseñar zonas de ventas, rutas de despacho, rutas de merchandising y rutas de cobranza.
- Visualizar las ventas por cliente, zona de ventas, sectores, parroquias, municipios, poblaciones, estados, y nación, que sirve como insumo para los análisis de las ventas.

- Identificar puntos de ventas, oficinas, sucursales, distribuidores, competencia, entre otros.
- Localizar oficinas más cercanas, análisis de rutas óptimas y alternativas.
- Determinar el área de influencia para precisar la población a la cual se está cubriendo.
- Responder a preguntas como: ¿Es óptima la localización actual de mi negocio? ¿Dónde se podría ubicar una nueva sucursal? ¿Dónde dirigir una campaña publicitaria?
- Análisis del potencial del mercado - domicilios por rango de ingresos.
- Añadir valor en procesos de marketing directo o de atención al cliente.

Analytics

Es una nueva técnica para poder hacer un análisis de grandes cantidades de datos haciendo uso de recursos estadísticos y paquetes de software especializados relativamente nuevos que tienen como finalidad encontrar patrones ocultos, variables correlacionadas, tendencias de mercado, preferencias de los clientes y demás información útil (Rouse, 2014).

Estos resultados pueden servir para llegar a ser más eficaces comercialmente, llegar a nuevas oportunidades de ingresos, ofrecer un mejor servicio al cliente, mejorar la eficiencia operativa, etc., pues con el acelerado ritmo en el que se intercambia información virtualmente se ha hecho imposible administrar estos datos para que sean procesados y sean de utilidad en las compañías que desean diferenciarse de las demás, por eso surge la necesidad de capturar y entender todos los datos que circulan y sean de importancia para la toma de decisiones.

El objetivo principal es ayudar a grandes organizaciones a tomar decisiones con mayor información pues los profesionales de análisis de datos y modeladores predictivos los usan para crear un contenido comprimido fácil de digerir y con tendencias ajustadas de datos necesarios y que pueda ser aprovechado por personal de inteligencia comercial en las empresas. Estos datos pueden ser adquiridos por medio de clics en redes sociales, correos electrónicos, documentos académicos, llamadas, datos de teléfonos móviles.

Grandes volúmenes de datos pueden ser analizados con las herramientas de software utilizadas comúnmente como parte de avanzadas disciplinas como el análisis predictivo, la minería de datos, análisis de texto y análisis estadístico. El software y datos de visualización herramientas también pueden desempeñar un papel en el proceso de análisis, pero los datos semi-estructurados y no estructurados pueden no encajar bien en tradicionales almacenes de datos basados en bases de datos relacionales.

Algoritmo de colonia de hormigas

Las feromonas son sustancias químicas que segregan los seres vivos que cumplen papeles distintos e importantes en las civilizaciones de la naturaleza que busca generar cierto tipo de comportamientos en otros individuos pues lo usan como medio para transmitir mensajes a otros de su misma especie.

En el caso de las hormigas ellas usan esta sustancia como manera de reclutamiento, reconocimiento, territorialidad y de alarma; desde hace muchos años se ha venido investigando el comportamiento de algunos seres de la naturaleza y el de las hormigas es popular por sus estrategias y orden dando paso a modelaciones matemáticas tratando de recrear la logística de sus colonias.

Las feromonas en las colonias de hormigas son de vital importancia pues sirven como patrón de guía entre otras hormigas para encontrar el camino más corto entre el alimento y su colonia y poder conGráficar su camino a medida que otras hormigas les transmiten el mensaje a sus compañeras. Este algoritmo es usado para problemas de optimización, tiempos, distancias y recursos.

La teoría de optimización por colonia de hormigas u OCH por sus siglas en inglés (Ant Colony Optimization, ACO), fue introducida por Marco Dorigo en los inicios de 1990 como herramienta para la solución de problemas de optimización complejos (Dorigo y Gambardella, 1996, p. 3; Dorigo y Blum, 2005, p. 244). La OCH es catalogada como un método heurístico que no busca llegar a la solución óptima sino a una muy cerca de esa óptima sin comprometer mucho los tiempos en que una computadora tardaría en llegar a la mejor solución (Robles Algarín, 2010).

La fuente de inspiración de la OCH es el comportamiento real de las hormigas, estos insectos cuando están en búsqueda de la comida inicialmente exploran el área alrededor de su nido de una forma aleatoria. Tan pronto encuentran fuentes de alimentos, evalúan su cantidad y calidad, y llevan alguna parte de esta comida para su nido, cuando las hormigas regresan al nido las hormigas depositan una sustancia química llamada feromona sobre el camino la cual sirve de guía para las demás que van detrás en busca de comida.

La teoría de colonia de hormigas considera a la feromona como la variable que permite encontrar el camino más corto, en un camino con dos ramales y cuando es la primera vez que se inicia el recorrido se considera que la escogencia del ramal es aleatoria y luego se establecerá una decisión óptima (ver Figura 23).

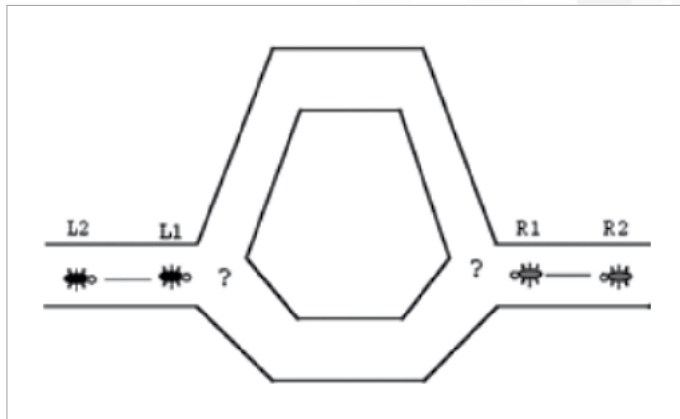


Figura 23 Hormigas en el punto de decisión.

Fuente: Dorigo y Gambardella, 1996.

Luego las hormigas toman una decisión que se representa con las líneas que aparecen en el camino que indican la cantidad de hormigas que han pasado por ese tramo (ver Figura 24).

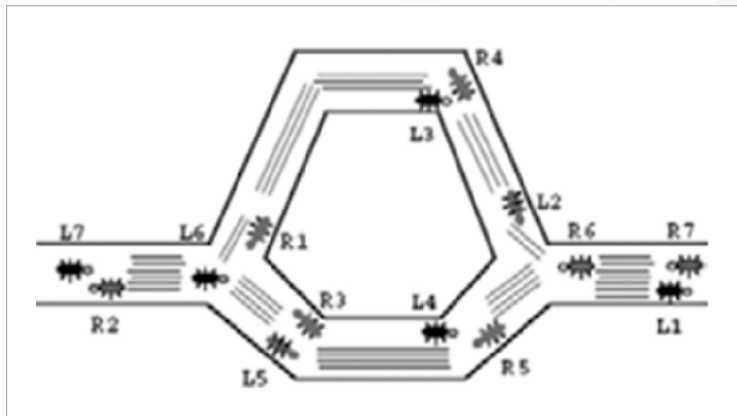


Figura 24 Efectos de la cantidad de hormigas que circulan por cada camino.

Fuente: Dorigo y Gambardella, 1996.

Al ser un proceso aleatorio y en teoría equitativo el camino más corto que es el inferior se llenará más rápido y con más cantidad de feromona, dejando en un segundo plano al camino más largo que por su extensión hace que comparativamente tenga menor cantidad de la sustancia, con el tiempo las nuevas hormigas que pasen por el camino y tengan que tomar una decisión de cuál ramal escoger se dejarán influenciar por el camino con mayor presencia de feromona, la cual será el camino más corto (ver Figura 25)

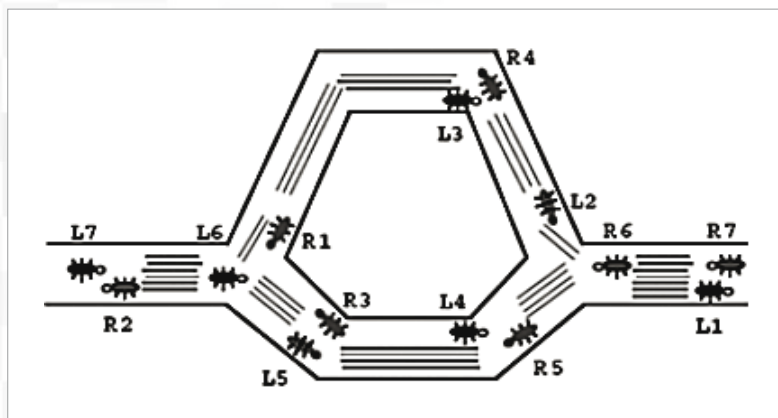


Figura 25 Mayor acumulación de feromonas en el camino más corto.

Fuente: Dorigo y Gambardella, 1996.

HERRAMIENTAS

Dependiendo de cada municipio, se eligen las herramientas que permiten realizar un análisis adecuado del proceso, por ejemplo, en el caso de La Vega se realizó la matriz de Vester, la cual se puede apreciar en la tabla 13.

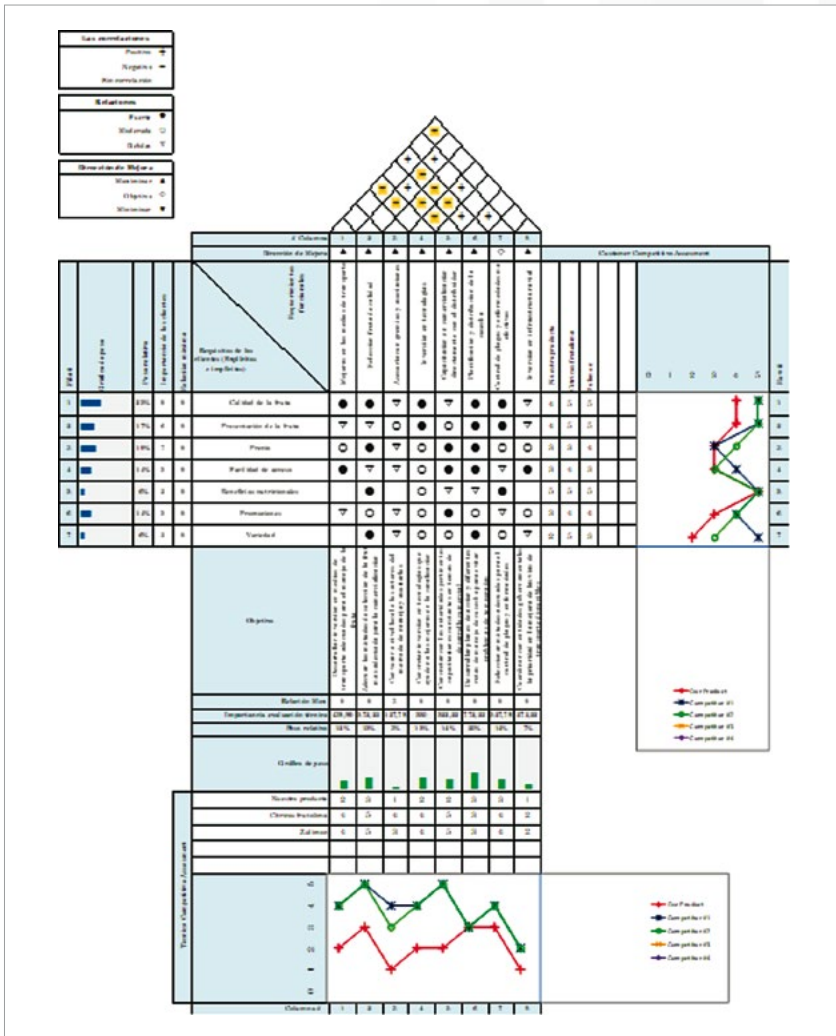
Tabla 13 Aplicación de la matriz.

	Problemas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Activos
1	Baja calidad	1	0	1	2	1	2	0	2	2	2	0	0	0	12
2	Falta apoyo gubernamental	2	3	0	3	2	3	3	3	3	2	1	2	3	28
3	No planificación	3	3	1	0	3	3	3	2	0	1	1	1	2	20
4	Altos costos de almacenaje	4	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	6
5	Baja competitividad	5	1	1	0	1	0	0	2	3	0	2	1	1	12
6	Mala condición de vías de trans.	6	1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	5
7	Falta de asociación	7	3	1	1	3	3	0	0	3	1	2	3	2	22
8	Bajo potencial de exportación	8	1	2	0	0	3	3	3	0	0	0	3	0	15
9	Plagas	9	2	0	0	1	3	2	0	2	0	0	0	0	10
10	Empaque y presentación	10	1	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	5
11	Insuficiente tecnología	11	3	0	0	1	3	0	0	3	3	3	0	0	16
12	Deficientes capacitaciones	12	3	0	0	2	3	0	0	3	3	2	1	0	17
	Pasivos		23	6	6	15	28	11	12	23	12	12	12	8	

Fuentes: Cruz et al, 2017.

También se trabaja la casa de la calidad, que se observa en la Figura 26. Este proceso sirvió de base para la generación de los escenarios que permitan analizar las principales problemáticas presentadas en cada municipio y en cada producto, principalmente en temas de comercialización, infraestructura, agremiaciones y sistemas de información.

Una vez seleccionadas las principales dificultades, se procede a realizar el DOFA para analizar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. Se hacen las matrices EFI y EFE.



PRONÓSTICOS

Para el desarrollo del pronóstico se eligió el modelo de Holt Winter ya que contempla la estacionalidad y tendencia como factores determinantes y analizando los datos históricos es el modelo que mejor se ajusta a diferencia de otras técnicas cuantitativas de pronósticos que son más estáticos en los datos. En la Figura 27 se observa el pronóstico de la fresa en Colombia en Usme.

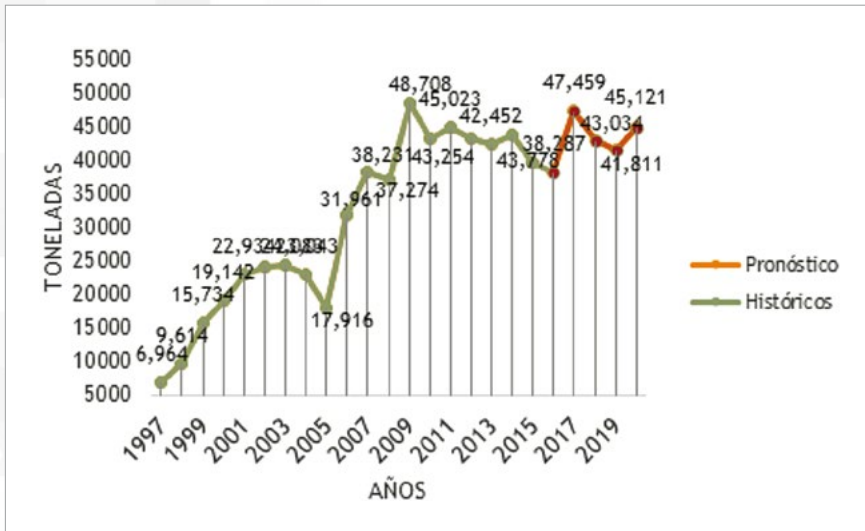


Figura 27 Pronóstico de la demanda de fresa en Colombia.

Fuente: Buitrago et al, 2016.

Este proceso se desarrolló para los datos de producción, exportación e importación a nivel local, nacional e internacional de cada producto.

En el caso de estudio de la Fresa en Usme, se analizan los mercados potenciales para Estados Unidos porque a pesar de ser uno de los principales productores, también encabeza la lista entre los importadores de fresa en el mundo para abastecer su consumo interno al igual que Canadá, Alemania y el Reino Unido. Actualmente, Colombia cuenta con Tratados de Libre Comercio con Estados Unidos y La Unión Europea lo que favorece a la fresa colombiana para entrar a competir entre estos grandes mercados (ver Figura 28).

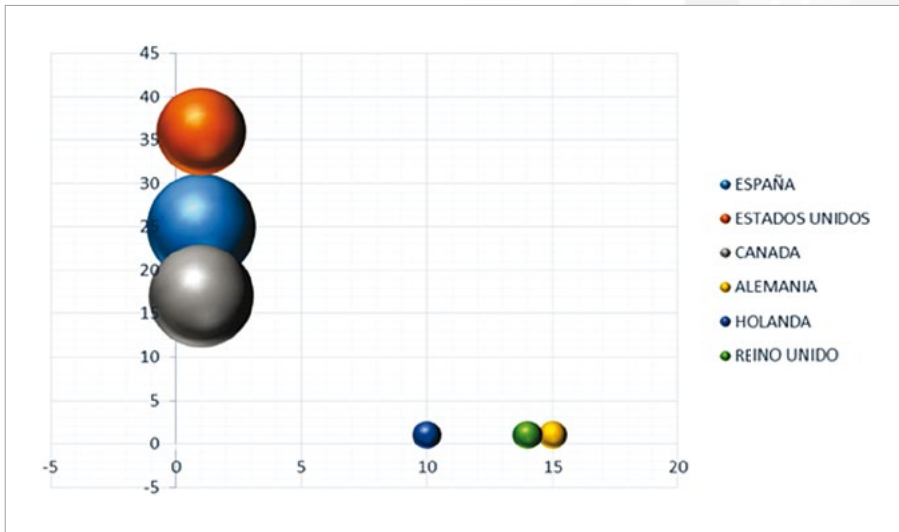


Figura 28 Mercados potenciales para el cultivo de fresa en Colombia.

Fuente: Duarte et al, 2014.

El consumidor

Para conocer las características de los consumidores, se realizan encuestas en cada municipio, lo que permite establecer la definición correcta del bien o servicios que se ofrece, el comportamiento del consumidor, los factores culturales, los motivadores y los segmentos de mercado.

La diferencia entre el cliente y el consumidor es que el primero es la persona que efectivamente adquiere un producto o un servicio y el cual está fidelizado con la marca. Es decir, todas las acciones de mercadeo apuntan hacia el cliente para fidelizarlo, ya sea regalando productos, promociones, o descuentos especiales, etc.

Por otra parte, el consumidor es quien adquiere un producto o servicio sin importarle la marca, es decir, no tiene relación ni fidelidad por la marca, por lo tanto, pasa a ser un consumidor fugaz.

Todo consumidor de cualquier producto busca establecer una referencia buscando características que puedan satisfacer sus necesidades y características no deseables en los productos, este ciclo es natural de todo ser humano, donde se busca establecer una comparación para maximizar los beneficios que se adquieren en un proceso de compra, sin embargo, hay diferentes factores que pueden incentivar la compra de panela (ver Figura 29).

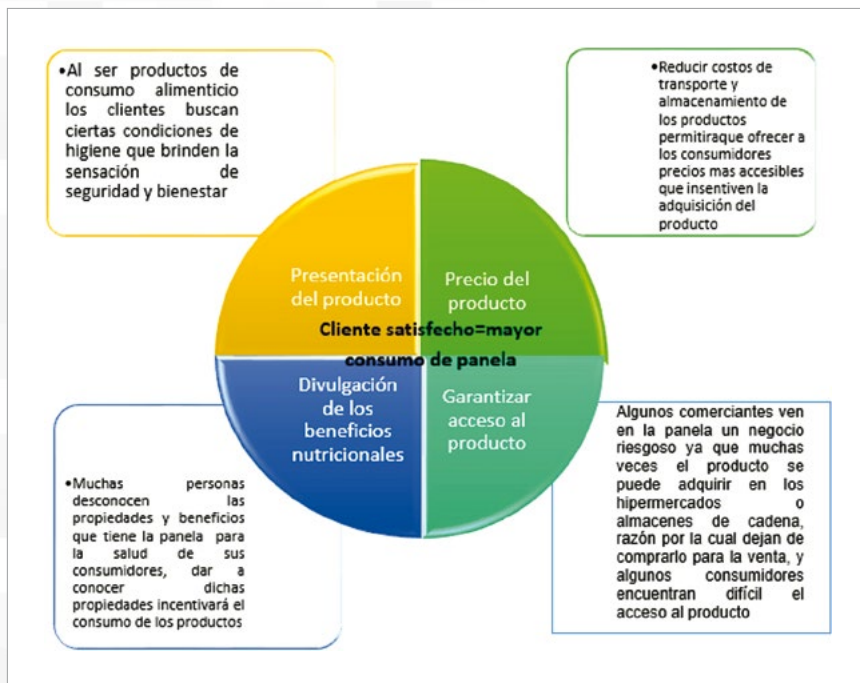


Figura 29 Grupos de referencia y características.

Fuente: Pachón et al, 2017.

Aplicación de las 10 p's

Uno de los procesos fundamentales del estudio es la generación de las estrategias comerciales, las cuales permiten que se combinen diferentes características para posicionar el producto y permitir que este se desarrolle, crezca y perdure en el tiempo.

Para el proceso de marketing se analizan 10 p's las cuales se observan en la Figura 30.

En cada municipio se hace un análisis del producto para conocer sus características. De igual manera se genera una propuesta de marca y campaña publicitaria. En la Figura 31 se observa el análisis básico que se realiza para el producto.

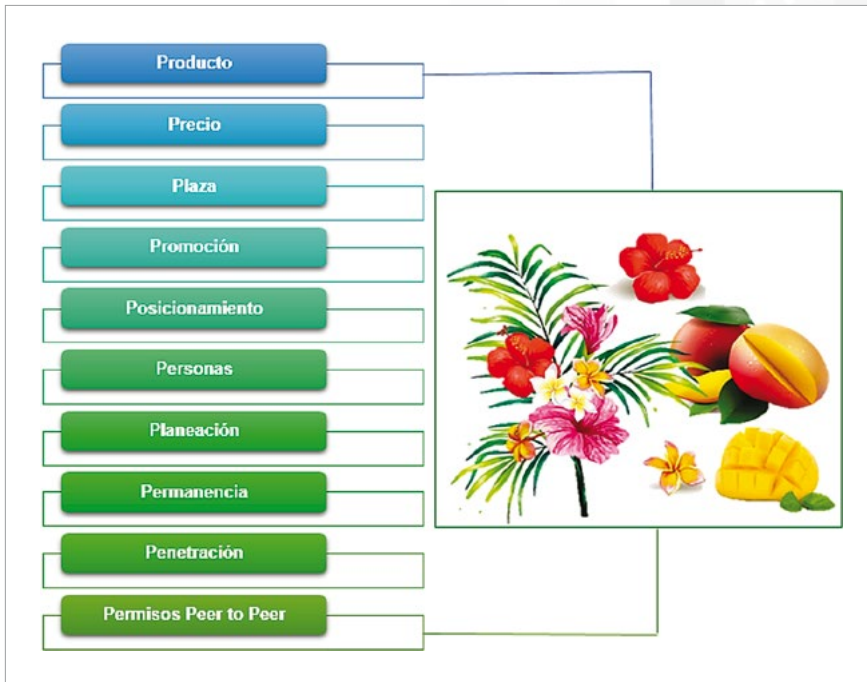


Figura 30 10 P'S Marketing mix.

Fuente: Corredor y Fuentes, 2017.

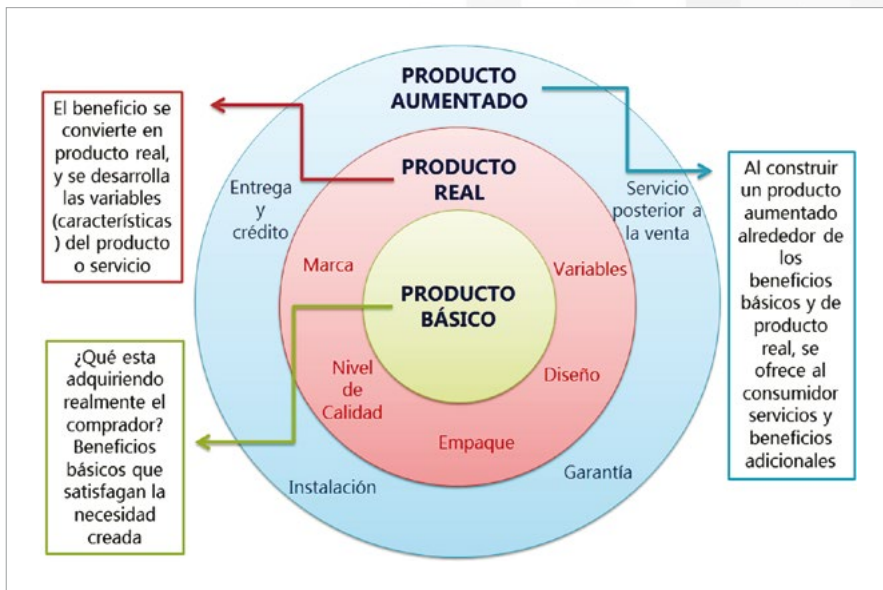


Figura 31 Niveles del producto.

Fuente: Fernández, Diario Raquel, 2017.

El modelo

La meta heurística de optimización basada en la colonia de hormigas (Ant Colony Optimization, ACO), es una técnica probabilística propuesta por Marco Dorigo en 1992 en su tesis doctoral como un método para encontrar la solución de problemas computacionales para encontrar las mejores rutas (Dorigo & Socha, 2006). Este tipo de algoritmos está inspirado en la observación del comportamiento de las colonias hormigas reales, que están compuestas de individuos simples y sociales que conviven y que se ayudan entre sí a través de un auto-control y con un gran nivel de auto-organización sin que haya un mando central y cuya conducta tiene la supervivencia de todos los integrantes como un todo.

Este algoritmo nació con el objetivo de buscar el mejor camino como lo hacen las hormigas cuando buscan el trayecto más corto entre su colonia y su alimento y de este modo optimizar tiempos y evitando recorrer lugares donde su búsqueda no será provechosas.

El uso del algoritmo de colonia de hormigas se ha diversificado siendo usado para problemas que contienen gran cantidad de datos, redes neuronales, inteligencia artificial, enrutamiento de vehículos, entre otros y la primera vez que se utilizó se llamó Ant System¹⁰ y tenía como fin resolver el problema del viajante, que consiste encontrar el camino más corto de todo el sistema y siguiendo unas reglas como:

- 1) Visita cada punto solo una vez, exceptuando el lugar de llegada y de terminación.
- 2) Cuanto más lejos este la ciudad menos es visible y disminuye su probabilidad de ser elegida.
- 3) Entre mayor sea la intensidad de una feromona de una arista entre dos lugares, aumenta la probabilidad que esta sea elegida.
- 4) Cuando una hormiga termina su recorrido, esta coloca más feromonas en las aristas utilizadas.

A continuación, se muestra el modelo del algoritmo de colonia de hormigas;

- a) *Selección de aristas:* Se construye repetidamente una solución para el problema que se esté tratando. Las soluciones intermedias se consideran estados solución, En cada una de las repeticiones cada hormiga sigue su camino de un estado x a uno en y . Haciendo que cada solución intermedia se vuelva más completa. (Arito, 2010)

En general cada hormiga k que se mueve de un estado x a un y tiene una probabilidad:

$$p_{xy}^k = \frac{(T_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum (T_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)} \quad (1)$$

Donde T_{xy} es el número de feromonas colocadas en el movimiento de la hormiga de x a y , $0 \leq \alpha$ es una medida para vigilar la influencia de T_{xy} , siendo T_{xy} la conveniencia que tiene xy .

- b) *Actualización de feromonas*: Cuando se completado una solución, los rastros son renovados por

$$T_{xy} \leftarrow (1 - \rho) T_{xy} + \sum_k \Delta T_{xy}^k \quad (2)$$

Donde T_{xy} es la cantidad de feromonas generadas de un estado x a y , ρ es el coeficiente de evaporación de feromonas y ΔT^k son la cantidad de feromonas colocadas por k .

$$\Delta T_{xy}^k = \begin{cases} Q / L_k \\ 0 \end{cases} \quad (3)$$

Donde L_k es el costo de la ruta de la k y Q es una constante.

RESULTADOS

Para la presentación de los resultados, se toma como ejemplo el análisis realizado para la mora en el municipio de Pasca, por los estudiantes Camilo Alexander Hernández y Andrea Isabel Pérez en el año 2017.

Los mercados potenciales y reales donde la mora de Colombia es apetecida por su agradable sabor son Estados Unidos, Canadá, Aruba, Reino Unido, pero para llegar a cada uno de estos países es importante determinar el competidor que tiene el producto, esto se puede ver en la tabla 14.

Este análisis se realizó en el marco del proyecto sobre la agenda de investigación y desarrollo tecnológico realizada por los estudiantes Juan Diego Sierra y Hugo Alejandro González en el año 2015.

Tabla 14 Mercados potenciales y reales para la mora en el mundo.

País	Tipo de mercado	País Competidor	Mercado
Estados Unidos 	Potencial	El principal país competidor es México; este país tiene una participación más significativa en el mercado de Estados Unidos, además de la cercanía relevante entre estos dos países.	Europeo - Asiático
Canadá 	Potencial	El principal país competidor es Estado Unidos, aunque es uno de los principales países a los cuales exporta Colombia, Estados Unidos distribuye directamente a Canadá, con una participación de más del 50%	Europeo
Antillas Holandesas 	Potencial	Los principales países competidores son los Países Bajos (Holanda).	Suramérica - Europeo
Aruba 	Potencial	El principal país competidor es México; este país tiene una participación más significativa en el mercado de Canadá, además de la cercanía relevante entre estos dos países.	Centroamérica
Reino Unido 	Real	El principal país competidor es Francia, con un gran porcentaje de participación a nivel europeo.	Europeo - Asiático

Fuente: González et al, 2015.

Con los análisis de los datos se realiza la georeferenciación, que según la página de marketing digital es la herramienta de mercadotecnia que se utiliza para obtener la localización exacta de los clientes mediante la ubicación de estos en un mapa digital o impreso, donde también se pueden mostrar las sucursales y competencia del negocio.

Para el municipio de Pasca se puede observar en el mapa (ver Figura 32) los segmentos A, B, C que se escogieron para estas ubicaciones por ser los lugares donde se encuentran los clientes potenciales.

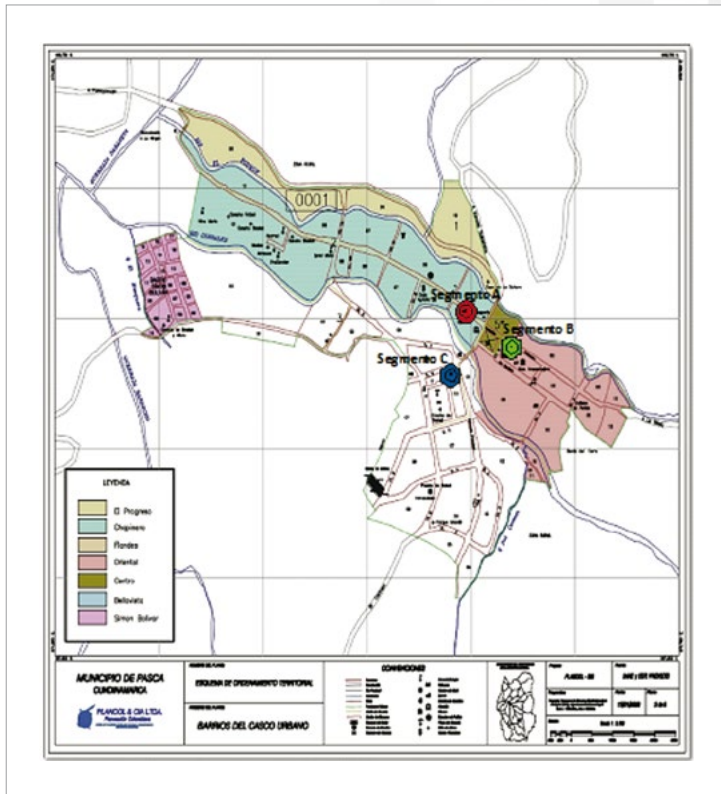


Figura 32 Ubicación de segmentos en el municipio de Pasca.

Fuente: Hernández et al, 2017.

Para el Sistema de Gestión Comercial se ha diseñado un modelo donde se contemplan como:

- *Las hormigas*: Son clientes que consumen de la mora.
- *La feromona*: Es la que determina los gustos y preferencias del cliente.
- *La tasa de evaporación*: Esta es fijada por los cambios de comportamiento de los consumidores de la mora en el municipio (Pérdida de importancia de la fruta para el consumidor).
- *La distancia entre nodos*: Esta es determina la importancia de las expectativas que tiene los clientes de la mora.

Mediante la encuesta que se realizó se determinaron las variables más importantes para los consumidores que establecen las preferencias de compra de los clientes de los productos agroindustriales, a cada uno de estos se les dio un porcentaje (Peso) que son la importancia que tiene en el momento de adquirir el producto.

Estas variables son importantes porque con estas se construye la ruta de las hormigas por dónde irán y de esta forma determinar el camino más corto y la estrategia que se usará (Ver tabla 15).

Tabla 15 *Porcentaje de cada una de las variables que determinar la compra.*

N°	Peso	Expectativas de los clientes
1	4%	Presentación
2	13%	Precio
3	27%	Calidad
4	15%	Facilidad de acceso
5	38%	Conocimiento de beneficios nutricionales
6	2%	Precio y calidad
7	1%	Precio y facilidad de acceso

Fuente: Hernández et al, 2017.

Para el modelo de colonia de hormigas se utilizó el aplicativo VisualBots para Excel, a cada una de las variables se les dio unas coordenadas mediante los porcentajes de las expectativas de los consumidores, para determinar las estrategias se desarrollaron 2500 de toma de decisiones de las hormigas para tomar un camino (ver Figura 33).

```
Private Sub SetupMORA()
    NumClientes = 7
    NumHormigas = NumClientes
    Q = 10#
    EvapRate = 0.5
    Alpha = 1
    Beta = 1.5
    ElitistAnts = 4
    NumCiclos = 2500
    TauInit = 1E-35
    ReDim X(1 To NumClientes), Y(1 To NumClientes)

    X(1) = 20: Y(1) = 80
    X(2) = 10: Y(2) = 20
    X(3) = -50: Y(3) = -70
    X(4) = -15: Y(4) = 90
    X(5) = 0: Y(5) = -10
    X(6) = 60: Y(6) = 0
    X(7) = 30: Y(7) = 40

```

Figura 33 *Datos del aplicativo de VisualBots.*

Fuente: Hernández et al, 2017.

Después de los 2500 ciclos donde las hormigas toman una decisión para obtener una ruta esto se ve en la Figura 34, el camino más corto fue (6,4,2,5,1,7,3) esto se puede en el archivo de Excel.

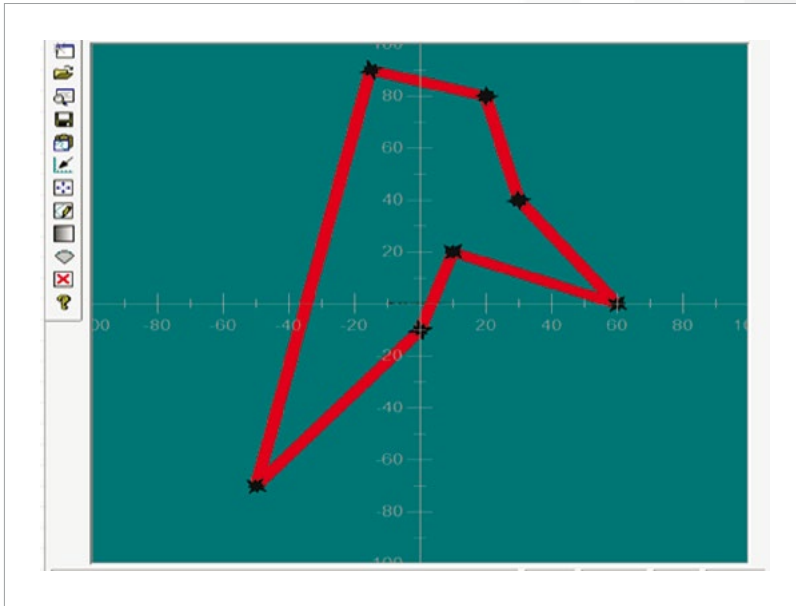


Figura 34 Ruta más corta.

Fuente: Hernández et al, 2017.

En la tabla 16 se puede ver la ruta óptima para los consumidores, a través de esta se puede plantar diferentes estrategias

Tabla 16 Ruta óptima para los consumidores de la mora.

Ciclo	Longitud	Secuencia
1,142857143	533,5772073	1,5,7,4,6,2,3
1,285714286	450,3684601	2,7,6,1,3,4,5
1,428571429	397,1857836	3,1,7,2,5,4,6
1,571428571	367,0035422	4,2,5,1,7,6,3
5,857142857	344,3592562	6,4,2,5,1,7,3

Fuente: Hernández et al, 2017.

Por último, se genera en Excel un aplicativo que permite analizar la información y generar el sistema de gestión comercial, como se observa en la Figura 35.



Figura 35 Portada del aplicativo en Excel.

Fuente: Hernández et al, 2017.

La receptividad del aplicativo fue muy positiva en los productores, ya que podían establecer sus estrategias comerciales, buscar nuevos mercados y analizar posibles subproductos según las tendencias del mercado ya que uno de los principales inconvenientes que se presentaban era que no tenían información en tiempo real.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones: 1) El estudio muestra que el aplicativo visual boot representa una buena herramienta para la simulación; 2) Visual boot permite determinar las variaciones que tienen las variables involucradas en el proceso de ubicación de los clientes; 3) la georreferenciación permite establecer la ubicación y el crecimiento de los diferentes segmentos; 4) el conocimiento de las diferentes variables que afecta el proceso comercial permite la generación del sistema de marketing para productos agroindustriales y 5) se mejora el proceso de toma de decisiones al tener información en tiempo real del comportamiento del sector, de los consumidores y de los posibles mercados a los cuales se puede acceder.

TRABAJO EN AULA PROPUESTO

- 1) Desarrolle un caso hipotético y revise las metodologías consideradas en este capítulo.
- 2) Describa el modelo matemático de ruteo para resolver por colonia de hormigas.
- 3) Describa la heurística de colonia de hormigas.
- 4) Implemente el código de programación en el aplicativo VisualBoots
- 5) Discuta y concluya.

BIBLIOGRAFÍA

- Área de comercialización e Investigación de Mercados L.A.D.E. (s.f.). (2018) <http://www4.ujaen.es/~emurgado/tema3.pdf>. Recuperado el 20 de 11 de 2016, de <http://www4.ujaen.es/~emurgado/tema3.pdf>
- Arellano Cueva, R., Molero Ayala, V. M., & Rivera Camino, J. (2000). Conducta del consumidor: Estrategias y tácticas aplicadas al marketing. Madrid: ESIC.
- Arito, F. L. (2010) Algoritmos de Optimización basados en Colonias de Hormigas aplicados al Problema de Asignación Cuadrática y otros problemas relacionados. Trabajo de grado, San Luis - Argentina.
- Asociación Hortifrutícola de Colombia, Asohfrucol. (2016) Mora uva: Una de las principales fuentes de ingreso de los productores de Palermo, Boyacá. Frutas & Hortalizas, 38-39.
- Bird, R., W. Stewart y E. Lightfoot. (1964). "Fenómenos de Transporte", Reverté, México.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2014). Logística y transporte internacional. Bogotá.
- Buitrago, D., Poblador, A. y Fuentes, E. (2016). *Sistema de gestión comercial para los productos agrícolas fresa, arveja y papa - Caso Usme*. Universidad Libre, Bogotá.
- Cavlovic, B. D. (2007). La influencia de las promociones de ventas en las decisiones de compra. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Corona Vásquez, G. (2012) Comportamiento del consumidor. Red Tercer Milenio.
- Corredor, F. y Fuentes, E. (2017). *Sistema de gestión comercial para el mango y las flores exóticas en Mesitas del Colegio - Cundinamarca*.
- Cortés, J. C. (2014). Pronósticos y administración de la demanda. Énfasis Logística México.
- Cruz, C., Fajardo, M.A. y Fuentes, E. (2017). *Sistema de gestión comercial para la naranja en el municipio de la Vega*.
- DANE. (2010). Censo General 2005 perfil de Pasca- Cundinamarca. Boletín.
- Dorigo, M., & Socha, K. (2006). An Introduction to Ant Colony Optimization. Technical Report No.TR/IRIDIA/2006-010.
- Duarte, L., Soto, A. y Fuentes, E. (2014). *Agenda prospectiva de investigación fresa - Caso Usme*. Universidad Libre, Bogotá.
- Etzel, M. J., Walker, B. J., & Stanton, W. (2007). Fundamentos de marketing. McGraw Hil.

- Galindo Triana, G. P. (2015). Hábitos de consumo de frutas y hortalizas en personas de 15 a 39 años, habitantes de Bogotá (Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- HeadWays. (2016). Obtenido de <http://www.headways.com.mx/glosario-mercado-tecnia/definicion/penetracion-de-mercado/>
- González, H.A., Sierra, J.D. y Fuentes, E. (2015). *Agenda prospectiva de investigación de la mora - Caso Pasca*. Universidad Libre, Bogotá.
- Hernández, C.A., Pérez, A.I. y Fuentes, E. (2017). *Sistema de gestión comercial para la mora en el municipio de Pasca - Cundinamarca*.
- Herrera, F. (2013). Marketing en redes sociales. Obtenido de <http://marketingenredesociales.com/que-es-y-para-que-sirve-el-geomarketing.html/>
- Kotler, P., Armstrong, G., Hoon Ang, S., Meng Leong, S., Tiong Tan, C., & Yau Hon-Ming, O. (2009). *Principles of Marketing- A global perspective*. Pearson Prentice Hall.
- Krajewski, L., Malhotra, M., & Ritzman, L. (2008). *Administración de las operaciones procesos y cadenas de valor*. Pearson Educación.
- Krolling, D., & Dau, H. (2010). *Productos Agrícolas Transitorios y Permanentes*. Madrid.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (s.f.). (2016). *Mincomercio, Industria y Turismo*. Recuperado el 30 de 11 de 2016, de <http://www.mincit.gov.co/>.
- Pachón, J., Rivera, D. y Fuentes, E. (2017). *Sistema de gestión comercial para la paneta en Vergara - Cundinamarca*. Universidad Libre, Bogotá.
- Padilla Padilla Karen Josselyn. (2013). *Importancia de la planeación de la mercadotecnia en las empresas*. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/importancia-de-la-planeacion-de-la-mercadotecnia-en-las-empresas/>
- PMLiVE. (2013). Obtenido de http://www.pmlive.com/intelligence/healthcare_glossary_211509/Terms/p/peer_to_peer_p2p_marketing.
- Rivas, J. A., & Grande Esteban, I. (2013). *Comportamiento del consumidor*. Esic Editorial.
- Robles Algarín, C. A. (2010). *Optimización por colonia de hormigas: aplicaciones y tendencias*. Ingeniería Solidaría, 6(10), 93-89.
- Rodríguez Ardura, I. (2007). *Estrategia y técnicas de comunicación, Una visión integrada en el marketing*. Barcelona: UOC.

Rouse, M. (2014). Big Data Analytics. Obtenido de <http://searchbusinessanalytics.techtarget.com/definition/big-data-analytic>.

Solomon, M. R. (2008). Comportamiento del consumidor (Séptima ed.). México: Pearson Educación.

Universidad Nacional Sede Manizales. (2013). Modelo de entregas directas para la reducción de costos logísticos de distribución en empresas de consumo masivo. Aplicación en una empresa piloto de caldas. Manizales: Universidad Nacional. Obtenido de www.bdigital.unal.edu.co.

GLOSARIO

- *Algoritmo de colonia de hormigas*: En la disciplina de la Investigación Operativa, el algoritmo de optimización por colonia de hormigas (Ant Colony Optimisation - ACO) es una técnica para resolver problemas combinatorios complejos inspirada por el comportamiento que muestran las hormigas en la naturaleza, la inteligencia de enjambre.
- *Consumidor*: En economía, un consumidor es una persona u organización que demanda bienes o servicios a cambio de dinero proporcionados por el productor o el proveedor de bienes o servicios. Es decir, es un agente económico con una serie de necesidades. También se define como aquel que consume o compra productos para el consumo. Es por tanto el actor final de diversas transacciones productivas.
- *Producto*: En mercadotecnia, un producto es una opción elegible, viable y repetible que la oferta pone a disposición de la demanda, para satisfacer una necesidad o atender un deseo a través de su uso o consumo. El producto es uno de los componentes estructurales de la mezcla de mercadotecnia.
- *Comercio*: Se denomina comercio a la actividad económica que consiste en la transferencia e intercambio de bienes y servicios entre personas o entre otras entidades en la economía.

Fuente: Wikipedia, 2021, marzo.

Riesgos de la distribución urbana de mercancías

*Enfoque de investigación
cuantitativo*

Sonia Meneses Velosa¹⁷

María Angélica Viasus Flórez¹⁸

Jhon Alexander Chaparro¹⁹

¹⁷ Ingeniero Industrial, Maestría en Riesgos Laborales, docente investigador.

¹⁸ Ingeniero Industrial.

¹⁹ Ingeniero Industrial.



INTRODUCCIÓN

Con base las proyecciones de Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2018) las proyecciones de proporción habitantes del mundo que vivirán en ciudades serán del 60% hacia el 2030. Según las estadísticas que proporciona LOGUS (Guía de buenas prácticas en logística urbana sostenible y segura) en América Latina y el Caribe la proporción de población urbana (CAF, 2019) es del 80%. En Brasil la población urbana es del 86% del total. México y Perú están muy cerca del 80%. En Colombia es el 76%.

El transporte Urbano de Mercancías es vital para mantener el nivel de consumo, lo que deriva en una mayor presión y tasa de movilidad de mercancías. A medida que las ciudades crecen los flujos de transporte de mercancías deben recorrer mayores distancias y complejidad. Implicando diversos actores y prácticas, lo cual es un reto para la definición de políticas públicas.

La presión de la competencia y la evolución permanente de los mercados, llevan a que las empresas realicen de manera continua ingeniería que aporte valor a los procesos para cumplir con los requisitos del cliente y la necesidad de personalización de los productos. En este aspecto los procesos logísticos representan una oportunidad de desarrollo de ventajas comparativas, donde las herramientas que apoyen su planeación son pertinentes.

Dentro de aspectos a tener en cuenta en la planeación de los procesos logísticos está el análisis de riesgos, cuyo propósito es definir medidas de prevención y protección, que eviten la pérdida de valor del proceso por eventos adversos como robos, atrasos, deterioro de la mercancía, accidentalidad, entre otros. Por lo tanto, la gestión de riesgos de los procesos logísticos es vital para la operación de la empresa, porque pueden afectar la continuidad del flujo de los procesos.

Este capítulo presenta el marco metodológico necesario para el análisis y gestión del riesgo en el proceso de Distribución urbana de mercancías, con el fin de lograr metas de eficiente y lograr los retos de las empresas.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se presenta el problema de investigación desde el contexto del transporte urbano de mercancías y su comportamiento en la ciudad de Bogotá.

Contexto de los riesgos derivados del transporte urbano de mercancías

El transporte Urbano de Mercancías impacta las ciudades de manera negativa que se ve reflejado en temas de costos e ineficiencias en el ruteo y en la distribución. Los principales impactos son: impacto en la calidad de aire por emisiones de material particulado, accidentalidad y congestión. Este último aspecto afecta el cumplimiento de las entregas y los costos de demoras, devoluciones entre otros.

- a) *Impacto ambiental*: la flota de distribución de mercancías genera y emite elementos contaminantes al aire. Este impacto se refleja en la cantidad de material particulado en suspensión (PM) originado por los motores Diesel y desgaste de neumáticos (Espinosa, 2005). Generando problemas respiratorios en los ciudadanos. El siguiente cuadro muestra este impacto en diferentes ciudades:

Tabla 17 Cantidad de Material Particulado de la flota de distribución de mercancías.

Ejemplos de impacto ambiental de la logística urbana			
En París los vehículos de carga representan el 15% de la flota y generan el 40% de NOX y 30% del CO ²	En Bogotá los vehículos de carga representan el 5% de la flota y generan el 43% emisiones PM10 de fuentes móviles.	En la ciudad de México, el 71% de las 3.500 TM de PM2.5 generadas en 2002 por fuentes móviles provenían de vehículos de carga	Según cálculos del ICLEI los vehículos que transportan representan el 25% del total y contribuyen con hasta el 40% de las emisiones de CO ² relacionadas con el transporte urbano.

Fuente: Fuentes: IFSTAR. Alcaldía de Bogotá, MetroFeight, ICLEI, citado en Logus, guía de buenas prácticas en logística urbana sostenible, año 2019.

- b) *La seguridad vial*: De otra parte, los accidentes de tránsito relacionados con el transporte urbano de mercancías presentan mayor severidad y daños, como se verá en el problema detallado de este impacto en la ciudad de Bogotá. Esto se debe a que el desarrollo de la actividad de distribución urbana de mercancías se realiza con diversos actores viales en entornos urbanos donde hay exposición a riesgo social de hurto, asonada y demás problemas de tráfico.
- c) *Congestión*: según estudios de movilidad urbana las causas de este tema dependen los siguientes aspectos:
- α Dificultades de maniobra en algunas vías.
 - α Tiempos de cargue y descargue en vía pública
 - α Paradas frecuentes para dejar entregar mercancías.
 - α Concentración de camiones en ejes viales
 - α Distribución geográfica de las zonas que permiten flujo de camiones y horario. Esto afecta el flujo de distribución en Bogotá.
- d) *Dispersión geográfica de la logística*: Como consecuencia de la necesidad de atender la distribución de mercancía a mayor cantidad de clientes en diferentes sitios de la ciudad y la diversidad de productos, se presiona la infraestructura de la ciudad a asignar espacios para plataformas logísticas y donde su ubicación genera fenómenos de dispersión conocidos como “logistics sprawl” generando mayores recorridos y emisiones de CO2.
- e) *Actividad económica*: el flujo de mercancías es vital para el desarrollo de actividades económica de la ciudad. Por ello la eficiencia de la distribución de mercancías impacta directamente la competitividad de las empresas y la estructura productiva. Haciendo así atractiva la ciudad a todos los actores de la sociedad. Se suma a ello, que dentro de la ciudad conviven más de 26 cadenas logísticas diferentes y complementarias como se presenta en la Figura 36.

Además, la distribución urbana de mercancías es una importante fuente de empleo: es el 5 y el 10% del empleo total de las grandes regiones urbanas, más el empleo temporal es importante este sector. Por qué ofrece oportunidades a personas con cualificación baja y con dificultades de empleabilidad en otros sectores.

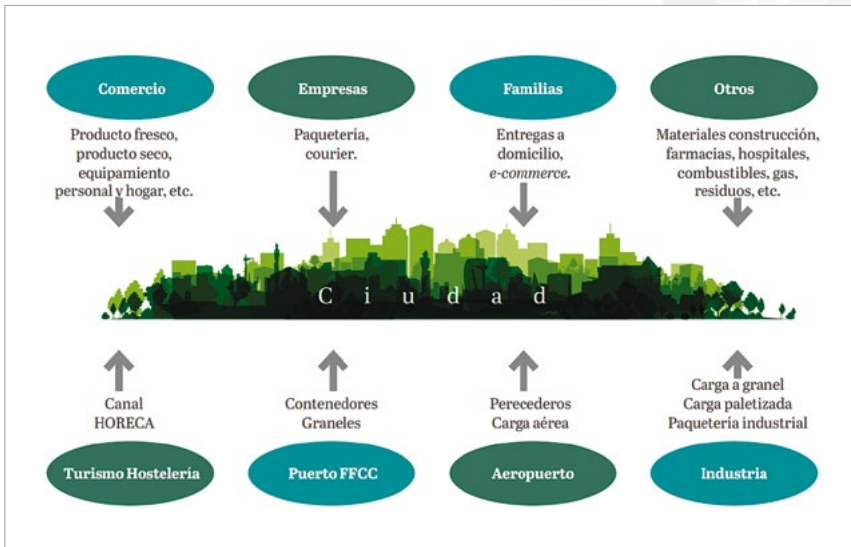


Figura 36 Grupos de Cadenas Logísticas que conviven en ciudades.

Fuente: Logus, Guía de buenas prácticas en logística urbana sostenible, ISBN978-980-422-161-3 año 2019.

Con este contexto se presenta la dimensión y características de los riesgos de la gestión urbana de mercancías en la ciudad de Bogotá

Riesgos en el transporte de mercancías en Bogotá

Contexto el riesgo de accidentalidad vial en transporte de carga

El tema de la accidentalidad vial se ha planteado como un desafío para la salud pública en el ámbito internacional y en el país, con efectos individuales, sociales y económicos. Es así, como desde 1962, el concepto social de seguridad vial, entendido como la prevención de eventos y efectos por accidentes en las vías y la dinámica de su epidemiología han sido objeto de interés global, con especial liderazgo de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En 1974, la Asamblea Mundial de la OMS adoptó la Resolución WHA27.59 para declarar el accidente de tránsito como un asunto relevante de salud pública y llamar a los Estados miembros a implementar acciones para afrontarlo. Desde 1997 la OMS estableció un departamento de prevención de lesiones y violencia, para desarrollar, entre otras, iniciativas de prevención de los accidentes de tránsito (Cabrera, Velásquez & Valladares, 2009).

En el ámbito nacional existe un marco legal vigente referente a la seguridad vial. En el artículo 24 de la Constitución Política de Colombia se establece el derecho de todo

colombiano “a circular libremente por el territorio nacional, sujeto a la intervención y reglamentación de las autoridades para la garantía de la seguridad de los habitantes, especialmente los peatones y discapacitados”. La Ley 769 de 2002 por la cual se expidió el Código Nacional de Tránsito Terrestre, en cuyo párrafo 1 del artículo 4, se estableció que el Ministerio de Transporte debía elaborar el Plan Nacional de Seguridad Vial, para disminuir la accidentalidad de tránsito, para entonces establecida como la segunda causa de muerte violenta en el país. El Ministerio en cumplimiento de lo anterior, adoptó mediante Resolución 4101 de 2004, el Plan Nacional de Seguridad Vial 2004-2008. Hacia una Nueva Cultura de Seguridad Vial”. Así mismo, en el Decreto 3039 de 2007 para adoptar el Plan Nacional de Salud Pública 2007-2010, reconoce que muchos de los eventos de salud, como los accidentes viales, son predecibles y modificables en el concurso de diversos actores y la comunidad.

Caso de Bogotá

Bogotá es la ciudad con mayor población del país, 8.080.734 habitantes que corresponden al 16,4% de la población total de Colombia. En la capital colombiana también se concentra el mayor registro de vehículos activos, 2.433.446 vehículos que corresponden al 17,8% de los vehículos registrados en el país.

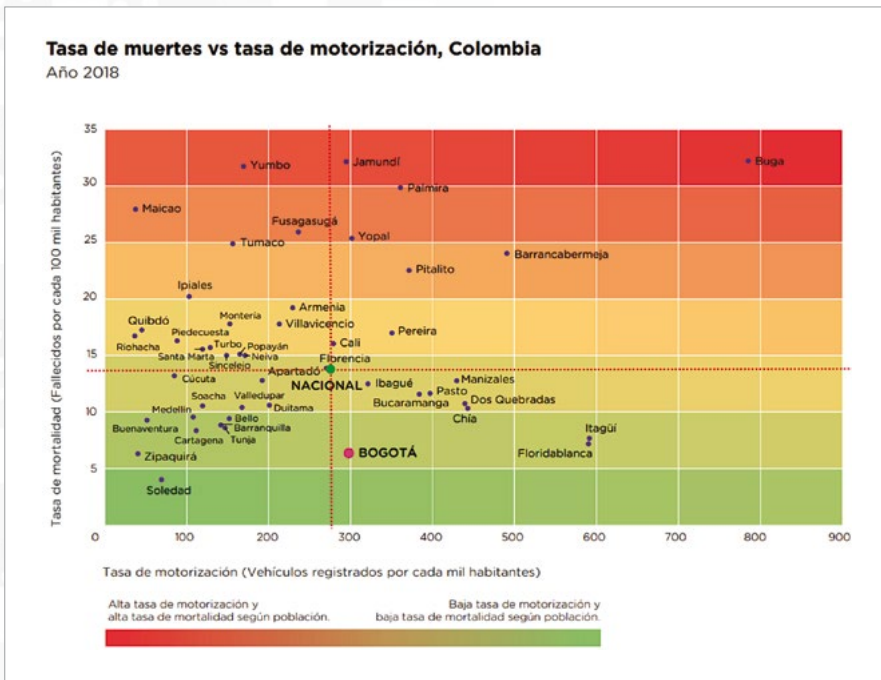


Figura 37 Tasa de muertes en accidentes viales 2018.

Fuente: Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá. 2018. Información histórica de siniestralidad vial

Principales indicadores de accidentalidad vial en Bogotá

En temas de fallecidos por el tránsito, los siniestros en Bogotá han dejado más de 11 mil víctimas fatales en lo que va del siglo XXI, aunque es destacable que entre el año 2000 y año 2003 las víctimas fatales se redujeron prácticamente a la mitad, desde el año 2003 hasta hoy la cantidad de muertes anuales por hechos de tránsito ha quedado en una estacionalidad entre los 500 y los 650 muertos por año. Según lo anunciado anteriormente; Bogotá cuenta con una tasa de motorización de 301 vehículos registrados por cada mil habitantes, se ha escogido el parámetro de vehículos registrados para hacer la comparación con los datos nacionales.

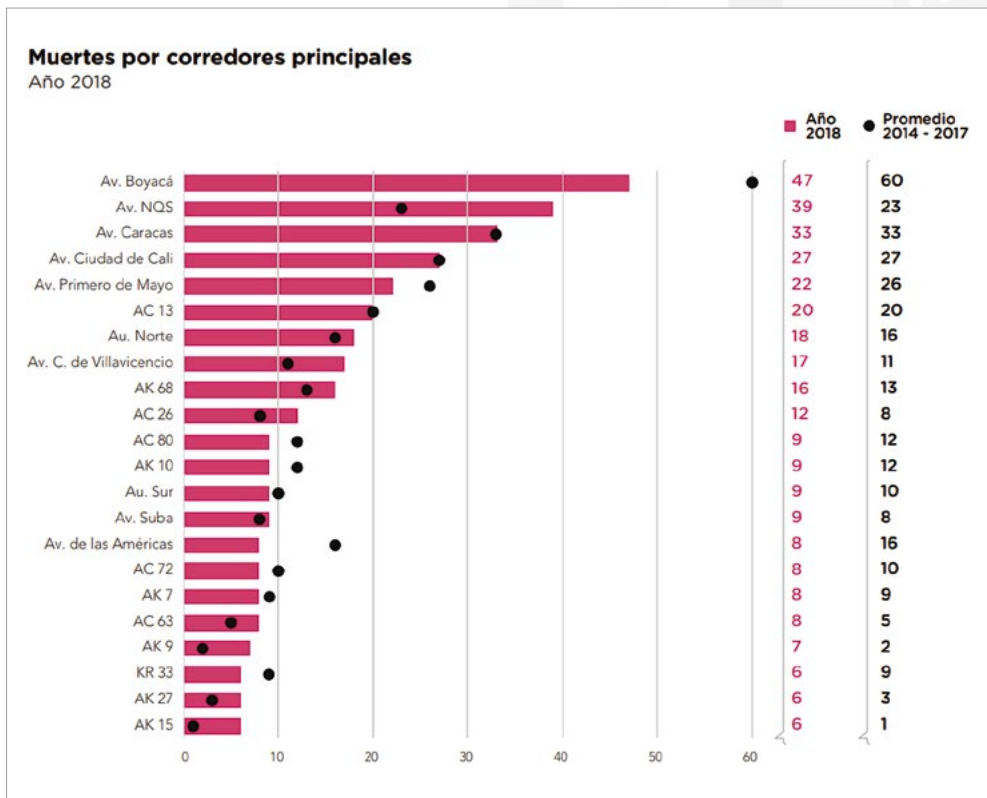


Figura 38 Muertes por corredores viales principales.

Fuente: Elaboración SDM-SD VCT, SIGAT (2017)

De esta cifra es necesario contextualizar cuántos de estos eventos son producto de la distribución urbana de mercancías.

Siniestros asociados a transporte de carga

Con respecto a la caracterización de los siniestros asociados al transporte de carga en Bogotá, se presentó que el 58% de los fallecidos con vehículos de carga ocurrieron en horarios diurno, entre las 6 pm y las 12.00 am. Con respecto a los lesionados el porcentaje sube al 59% en el mismo horario.

Esta actividad económica es ejercida básicamente por hombres, y la siniestralidad mortal así lo muestra los fallecidos ya que son el 81% de estos. Los meses con mayor tasa de accidentalidad son agosto, septiembre y octubre. La Figura 39 muestra mayor nivel de detalle de esta caracterización.

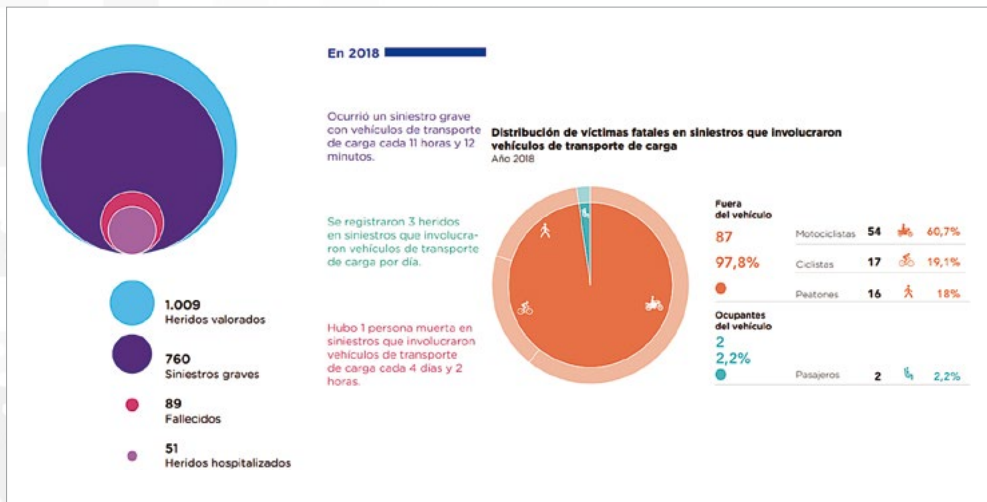


Figura 39 Caracterización de víctimas en siniestros que involucraron vehículos de transporte de carga en Bogotá.

Fuente: Anuario de Siniestralidad Vial, sumir, Secretaría de Movilidad, 2019.

Con respecto a la distribución de los eventos de siniestralidad que involucra transporte de carga, la siguiente gráfica (Figura 40) se muestra que el día de mayor tasa de mortalidad es el día martes con un 22% del total del año, mientras que los lesionados se presentan en mayor tasa los días sábados con una participación del 18% del total presentado en el año. Mientras que el rango horario de ocurrencia es diurno de 6.00 am a 5:00 pm con lesionados, mientras que los siniestros mortales ocurren en la franja horaria de 10:00 am a las 11.00 am

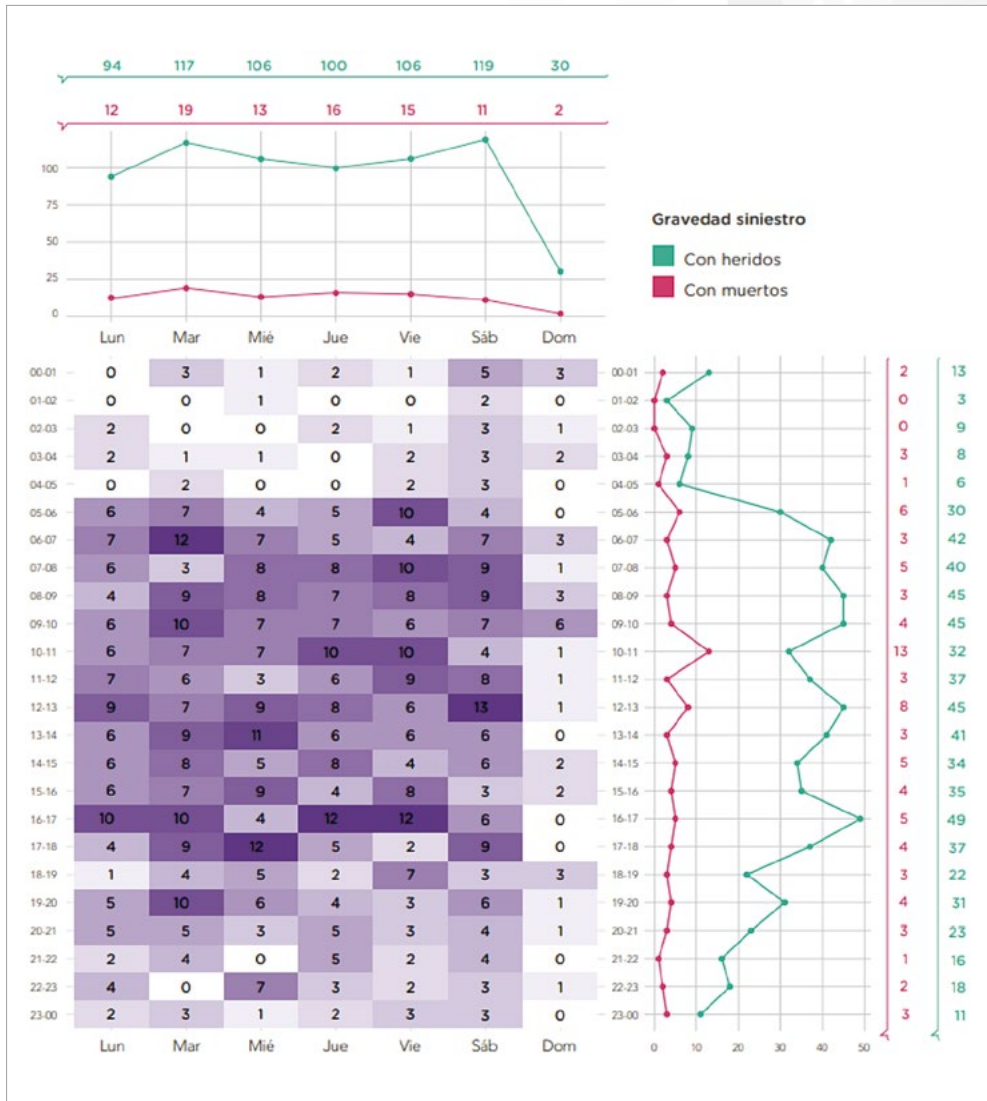


Figura 40 Caracterización por horario y día de la semana de la siniestralidad vial de transporte de carga en Bogotá.

Fuente: Observatorio de Seguridad Vial, Secretaría de Movilidad, Sigat, 2018.

De acuerdo con la distribución de las víctimas fatales en siniestros que involucran transporte de carga según días de la semana y horas del día, se observa una mayor concentración durante los martes y miércoles, con 18 y 16 muertes respectivamente; mientras que la menor concentración se presentó el domingo, con 5 muertes. El horario de mayor frecuencia de esta clase de víctimas se presentó entre las 6:00 y 8:00 de la mañana.

METODOLOGÍA

Norma ISO 31000: 2018

Para abordar esta situación se realiza un proceso de gestión del riesgo⁶ que identifique, desarrolle y coordine actividades para controlar el proceso en una empresa. Tomando como base la norma ISO 31000:2018 se deben desarrollar las actividades, se deben realizar una serie de tareas actividades que permitan desarrollar la gestión de riesgos específica para el contexto de cada empresa y sus necesidades específicas. La estructura de la norma está en la Figura 41 así:

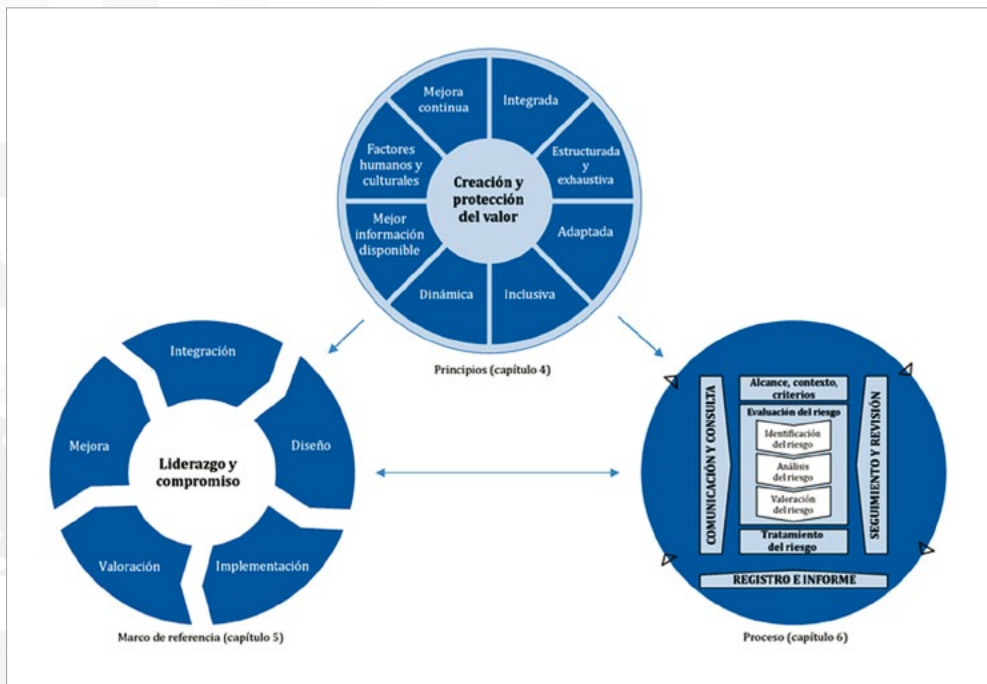


Figura 41 Principios, marco de referencia y proceso ISO 31000:2018.

Fuente: Organización ISO, iso 31000:2018, Gráfica No.1 Principios marco de referencia, 2020, julio, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>

Procesos para gestionar el riesgo en la cadena de suministros

Los procesos que los gestores de la Cadena de Suministros deben desarrollar en su empresa para realizar la gestión de los riesgos son los siguientes:
Identificar los potenciales riesgos que pueden suceder

- 1) Valorar y clasificar el riesgo.

- 2) Desarrollar un plan de respuesta adecuado.
- 3) Ejecutar el plan de respuesta si fuese necesario.

Para poder desarrollar estos procesos se utilizan los siguientes procesos metodológicos:

- 1) *Identificar el riesgo.* Las principales metodologías utilizadas para realizar esta etapa son:

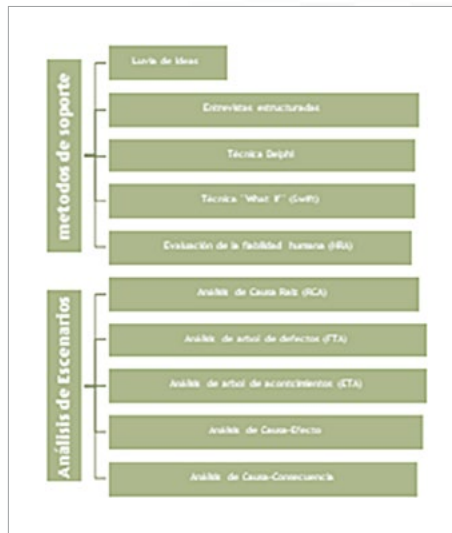


Figura 42 *Métodos de soporte y herramientas de análisis de escenario.*

Fuente: ISO 31010.

- 2) *Valorar y clasificar el riesgo.* Se debe identificar un método que pueda medir la probabilidad y severidad del riesgo, con base en la información disponible e involucrada en el proceso y recursos.

Priorizar los riesgos encontrados y analizarlos frente a las capacidades de la empresa de intervenirlos y definir su tratamiento de riesgos.

- 3) *Desarrollar un plan de respuesta adecuado.* El plan de respuesta debe incluir:
 - ❑ Desarrollar un plan de respuesta mostrando que se debe hacer y cuando, incluyendo que acciones deben desencadenarse si el riesgo sucede.
 - ❑ Designar a la persona responsable en cada uno de los riesgos identificados.
 - ❑ Tener las aprobaciones y fondos adecuados para dar respuesta a los riesgos potenciales.

- 4) *Ejecutar el plan de respuesta si fuese necesario.* La ejecución del plan contempla:
- Identificar el plan de respuesta en un calendario especificando las acciones a ejecutar en cada momento.
 - Analizar las tendencias o variaciones sobre los resultados esperados en caso de producirse el riesgo identificado.
 - Analizar la valoración económica asignada al presupuesto y ver que es suficiente para conducir el plan previsto.
 - Mantener reuniones periódicas para revisar el registro de riesgos y cambiar, añadir o eliminar cualquier elemento del registro elaborado.

Riesgos del transporte urbano de mercancías

En la operación de una empresa se presentan desviaciones de su funcionamiento esperado o normal, lo cual puede producir interrupción de las operaciones y procesos. Este tipo de alteraciones son producto de los riesgos en el entorno.

Para entender el efecto de los riesgos en el proceso logístico de transporte de mercancías, recordemos la definición de riesgo:

“Riesgo: Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”.

Para este caso se asume la incertidumbre (Icontec, 2019) como el estado de deficiencia de información relacionada con la comprensión o el conocimiento de un evento, su consecuencia o la posibilidad de ocurrencia. Por ejemplo, los riesgos se generan por eventos que no se conocían o no se tenía información de su ocurrencia y que generen alteraciones en plazos de entrega, afectan la calidad del producto transportado, ocurrencia de accidentes viales, entre otros.

Adicionalmente, estos riesgos pueden ser ocasionados por eventos externos como deterioro del orden público que genera asonadas, robos, o por ocurrencia de desastres naturales como sismos o remoción de masa que puede interrumpir el paso de vehículos en vías. Todos ellos en mayor o menor proporción impactan económicamente la organización provocando pérdidas y/o contratiempos. Con este contexto se considera que:

El riesgo en Cadena de Suministros (Gregory L. Schlegel, 2014) se puede definir como “la variedad de posibles sucesos que pueden causar un efecto negativo en el flujo de productos o servicios teniendo como resultado algún tipo de perjuicio cuantitativo o cualitativo. La gestión del riesgo en la cadena de suministros trata de valorar, identificar y cuantificar las potenciales disrupciones para reducir el impacto en la misma”.

Dentro de la cadena de suministros, el transporte de mercancías es fundamental desde la selección del proveedor hasta la entrega de la mercancía al cliente. Dado que este proceso tiene varias etapas como la planeación de rutas, cargue, movilización, descargue y entrega, se pueden presentar riesgos.

Fuentes de riesgo - amenazas en el transporte de mercancías

De acuerdo a diferentes análisis realizados por varias organizaciones se ha definido que las diversas etapas del proceso de transporte (carga, movilización y descargue) se dividan en grupos de la siguiente forma, como se presenta en la Figura 43.

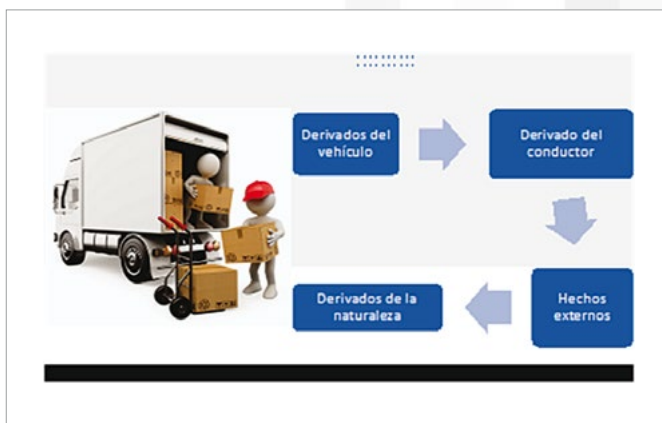


Figura 43 Fuentes de riesgos del proceso logístico de transporte de mercancías.

Fuente: LOGICOV, 2020.

- Derivados del vehículo transportador y del conductor:
 - a. *Asociados al estado del vehículo*: son riesgos de Incendio, explosión, impacto con otros vehículos, proceso de conducción por frenada y aceleración inadecuados, oscilación en las curvas, vibración, vuelco, derrumbamiento, caída al vacío o desde el vacío;
 - b. *Eventos generados por fallas*: falla del motor, falla de frenos, falla de la dirección del vehículo, falla de las llantas por desgaste, avería o rotura de las piezas del vehículo;
 - c. *Eventos generados por comportamiento del conductor*: acción, omisión, negligencia, efectos del estrés;
 - d. *Manejo de la carga*: efectos de un cargue o descargue inadecuado, empuje y arrastre inapropiado, caídas de la carga.
- Derivados de hechos externos asociados a la infraestructura y su entorno:

Rayo, inundaciones y tempestades, derrumbes y arrastrada de puentes, terremoto; atraco o robo, falta de entrega, mal estado de las carreteras y vías públicas, explosión o incendio en algún predio, contaminación por residuos o por olores, asonada, rebelión, terrorismo, motín, conmoción civil, actos de huelguistas.

- Derivados de la naturaleza del producto movilizado:
 - a. Productos sin empaque: saqueo, avería
 - b. Naturaleza de la carga: avería
 - c. Clases de empaque: derrame, evaporación, avería

Análisis y evaluación de riesgos

Ya que se tienen realizadas la lista de amenazas, sujetos expuestos y de suponer la afectación que podrían generar dichas amenazas sobre cada uno de estos, **se realiza un análisis y evaluación más detallada, con el fin de cuantificar los riesgos y obtener un criterio correcto al momento de establecer las opciones de tratamiento para estos.**

Para el diseño, estructuración y puesta en funcionamiento de un programa de gestión de riesgos es necesario **considerar y valorar las posibles situaciones de siniestro que pueden presentarse dentro del sistema y el impacto** que pueda tener sobre la estabilidad del mismo.

Para ello, es necesario **establecer objetivos** tales como establecer un marco de referencia, identificar las amenazas, cuantificar los riesgos, comparar los riesgos evaluados con el patrón de seguridad, definir metas para el control de cada riesgo y aplicar estrategias para la minimización de cada riesgo.

Luego de esto, **es necesario realizar un procedimiento adecuado que incluya las siguientes etapas:** definición del sistema, definición del ámbito de aplicación, definición del alcance de estudio, selección de los factores de vulnerabilidad, identificación de amenazas, inventario de recursos amenazados, definición de escenarios para siniestros, diseño de tablas de valoración con probabilidad y gravedad de las consecuencias, valoración de probabilidad y consecuencias de cada escenario, calificación del riesgo por escenario, construcción de matriz de aceptabilidad de riesgos, definición del perfil de riesgos, determinación del patrón de distribución de escenarios.

Métodos a utilizar

Análisis de riesgos para la toma de decisiones: el objetivo es aplicar metodologías que ayuden a la toma de decisiones en el proceso de distribución urbana de

mercancías. La teoría básica de toma de decisiones tiene la siguiente estructura que se aplicara (Clemen, 1996):

- Definir el problema y los objetivos de decisión.
- Identificar alternativas de solución.
- Definir criterios para seleccionar ente alternativas.
- Evaluar la ocurrencia.
- Seleccionar la mejor alternativa.

La toma de decisiones en Ingeniería es un problema de optimización y se define en términos de una función objetivo así:

Función Objetivo: $F(X)$

Variables de Decisión: $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$

Que satisfagan los sistemas de ecuaciones del problema.

Para el caso de la distribución urbana de mercancías el costo es un factor crítico para la toma de decisiones, por lo tanto, se deben compara costos⁸ y seleccionar con algún criterio la alternativa, se usaron las siguientes reglas:

- Pesimista.
- Optimista, y
- Regla de Hurwitz.

Estas metodologías exigen que se definan:

Conjunto de alternativas: $i, i = 1, 2, 3, \dots, n$. Para cada alternativa se definen se define un conjunto de escenarios, $j, j = 1, 2, 3, \dots, m$.

Pesimista: se usan dos criterios: *maximin* o *minimax*, se busca maximizar la mínima ganancia o minimizar la máxima pérdida. Así: μ_{ij} representa una ganancia, donde el criterio de decisión es:

$$\begin{aligned} & \text{MAX} (\text{MIN} (\mu_{ij})) \\ & 1 \leq j \leq m. 1 \leq i \leq n \end{aligned} \quad (1)$$

Si por el contrario μ_{ij} representa una pérdida:

$$\begin{aligned} & \text{MIN} (\text{MAX} (\mu_{ij})) \\ & 1 \leq j \leq m. 1 \leq i \leq n \end{aligned} \quad (2)$$

Si el criterio es maximizar la máxima ganancia, μ_{ij} representa una ganancia:

$$\text{MAX} (\max (\mu_{ij})) \quad \text{Si hay pérdidas no se aplica este modelo} \quad (3)$$

$$1 \leq j \leq m. \quad 1 \leq j \leq m$$

Estos métodos se usan para tomar decisiones en el corto plazo, debido a que se podrían perder oportunidades de seleccionar alternativas de mayor ganancia.

Regla de Hurwitz: este método ofrece un abalace entre el enfoque pesimista y optimismo, con el uso de un índice ∂ que representa el grado de optimista del decisor. Si μ_{ij} se define como ganancia:

$$\text{MAX} \mu_{ij} (\partial) = \text{MAX} (\partial \min(\mu_{ij} + (1-\partial) \text{MAX} \mu_{ij}) \text{ donde } 0 < \partial < 1 \quad (4)$$

$$1 \leq j \leq m. \quad 1 \leq j \leq m. \quad 1 \leq j \leq m \quad 1 \leq j \leq m$$

Es decir esta regla es una combinación lineal del método maximax y maximin. (Si $\partial = 0$ es el criterio optimista, Si $\partial = 1$ es el criterio pesimista)

Análisis de valor esperado

Se aplica cuando se comparten los mismos objetivos y se evalúan los mismos atributos para la decisión. Si existe n alternativas y cada alternativa puede tener m consecuencias diferentes entonces la mejor alternativa será la que cumpla con:

$$D = \theta_{1 \leq j \leq m} \left\{ \sum_{ij}^m P_{ij} X_{ij} \right\} \quad (5)$$

Donde θ es el criterio según la naturaleza de $_{j=1}$ decisión.

Donde i es la alternativa considerada,

Donde P_{ij} es la probabilidad de ocurrencia de las consecuencias j asociada a la alternativa i ,

La consecuencia es x_{ij} .

Entonces la decisión óptima es la del máximo valor esperado medido.

$$E(\partial) = \sum_{ij} P_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

Arboles de decisión

Utiliza la probabilidad condicional y el teorema de Bayes, usando nodos de decisión y nodos de probabilidad. La probabilidad condicional de un evento A dado un (1) evento B se define como:

$$P(A / B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (7)$$

Para un conjunto de eventos mutuamente excluyentes se tiene que para que ocurra el evento E_i es:

$$P[E_i | A] = \frac{P(A/E_i)}{P(A)} \quad (8)$$

A continuación, se presenta la aplicación de la metodología seleccionada a los escenarios del caso de estudio.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los riesgos de la red logística en cuanto al transporte son de los más representativos para las organizaciones debido a los altos costos que estos generan. Un buen estudio de riesgos minimiza el incremento de costos debido a que se analizan diferentes escenarios contemplando los diferentes riesgos y su impacto. En este trabajo se abordan los riesgos de:

- Mortalidad en vías
- Impacto ambiental
- Incremento de los costos basándose en 3 escenarios.

Se pretende establecer una ruta óptima que maximice la productividad logrando que el pedido se entregue completo, a tiempo y con la calidad esperada.

Escenario de riesgo para transporte urbano de mercancías

Riesgo Ambiental de Inundación medido desde la perspectiva de consecuencias: demora en tiempo de entrega y costo económico asociado.

Caso: La red vial ha sido afectada por inundaciones frecuentes. Una comisión técnica de la secretaria de movilidad ha propuesto tres alternativas de intervención a las siguientes vías, que aumentan los costos por transporte de carga por cada eje vial. Para cada eje vial hay tres alternativas de intervención con sus respectivos escenarios de pérdidas o ganancias.

Incremento de costos por tonelada de carga por incremento del tiempo de recorrido al tener que disminuir en un 30% la velocidad promedio del recorrido así: Positivo (costos), Negativo (ahorro en costos) (tabla 18):

Tabla 18 Costos asociados a demora por efectos de inundaciones en Ejes Viales.

Eje Vial	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3
Av. Boyacá	27.000	110.000	-150.000
Av. Ciudad de Cali	42.000	235.000	-32.000
Av. Caracas	190.000	90.000	10.000
Av. NQS	17.000	100.000	-140.000
Av. Primero de Mayo	32.000	225.000	-22.000
Av. de las Américas	180.000	80.000	0
Av. Agoberto Mejía Cifuentes	7.000	90.000	-120.000
Av. Mariscal Sucre	12.000	210.000	2.000
Av. C. de Villavicencio	170.000	70.000	-20.000

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que las rutas deben buscar los ejes viales menos congestionados (*congestión*: volumen vehicular por eje vial, ajustar su ruteo a las rutas menos transitadas). Se usa la Figura 44 para la selección de las rutas óptimas.

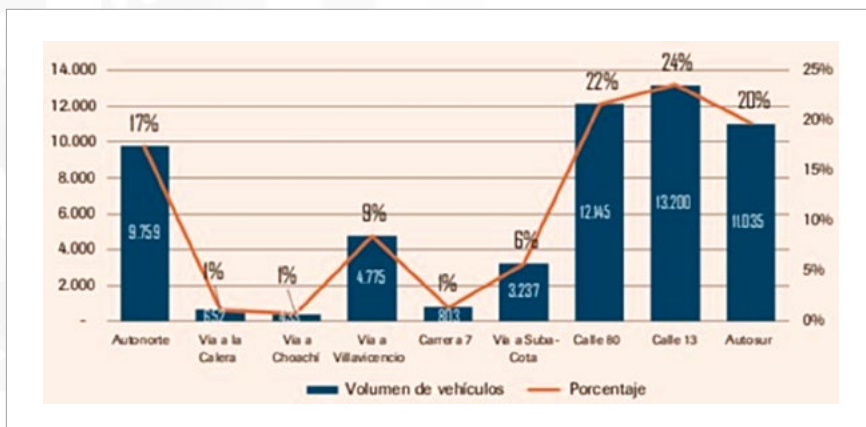


Figura 44 Volumen vehicular diario por corredor en Bogotá.

Fuente: Elaborada por la Unidad Logística de Bogotá Región con base en la Matriz O-D de carga 2015 de la Secretaría Distrital

Con base en las rutas del primer módulo se calcula el mejor escenario usando:

- Regla Pesimista, Regla optimista y regla de Hurwits.
- Decisión Con base en el valor esperado.

- Usar las tasas de mortalidad promedio de transporte de carga por eje vial presentado en el texto y calcule la proporción de cada red por eje vial. Use esa información georreferenciada y elija la ruta de mayor tasa de uso de su ruteo. Realice un árbol de decisiones para esa ruta teniendo en cuenta los datos de frecuencia de accidentalidad vial por días de la semana y hora del día. Se elige la opción menos riesgosa.

El problema se soluciona para una ruta de un camión que tiene que realizar 9 entregas de producto, que se denominarán V_i donde i es 1,2,...9 como ejemplo para la distribución.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 19 Ruta: AV 69 K 35.

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (Costo/ Tn)	Escenario 2 (Costo/ Tn)	Escenario 3 (Costo/ Tn)	Km	Tiempo	% mortalidad	Eje Vial
V1	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	5,8	13 min	4,41%	Ac 72
	1,2,3	\$ 17.000	100000	-140000	6,6	19 min	5,88%	NQS
	1,3,2	\$ 17.000	100000	-140000	6,1	15 min	5,88%	NQS
V2	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	2,4	6 min	4,41%	Ac 72
	1,4	\$ 12.000	210000	2000	2,7	9 min	4,41%	Ac 72
	1,4	\$ 12.000	210000	2000	2,9	10 min	4,41%	Ac 72
	1,4	\$ 12.000	210000	2000	3,5	12 min	4,41%	Ac 72
V3	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	2,8	8 min	4,41%	Ac 72
	1,5	\$ 12.000	210000	2000	3,7	11 min	4,41%	Ac 72
	1,5	\$ 12.000	210000	2000	4,8	14 min	4,41%	Ac 72
V4	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	1	3 min	4,41%	Ac 72
	1,6	\$ 12.000	210000	2000	1,3	4 min	4,41%	Ac 72
	1,6	\$ 12.000	210000	2000	2,1	5 min	4,41%	Ac 72
V5	Óptimo	\$ 170.000	70000	-20000	6,2	21 min	2,94%	Aut Norte
	1,7,8,9	\$ 170.000	70000	-20000	7,9	27 min	2,94%	Aut Norte
	1,8,7,9	\$ 17.000	100000	-140000	12,7	37 min	5,88%	NQS
	1,8,9,7	\$ 170.000	70000	-20000	9,4	26 min	2,94%	Aut Norte
	1,9,8,7	\$ 170.000	70000	-20000	10,5	34 min	2,94%	Aut Norte
	1,9,7,8	\$ 170.000	70000	-20000	11,1	34 min	2,94%	Aut Norte

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Km	Tiempo	% mortalidad	Eje Vial
V6	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	4,7	18 min	4,41%	Ac 72
	1,10,11	\$ 12.000	210000	2000	8,4	27 min	4,41%	Ac 72
	1,11,10	\$ 12.000	210000	2000	5,4	21 min	4,41%	Ac 72
V7	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	6	23 min	4,41%	Ac 72
	1,12,13,14	\$ 17.000	100000	-140000	8,3	31 min	5,88%	NQS
	1,13,12,14	\$ 17.000	100000	-140000	8,3	32 min	5,88%	NQS
	1,13,14,12	\$ 17.000	100000	-140000	8,1	30 min	5,88%	NQS
	1,14,13,12	\$ 17.000	100000	-140000	7,8	30 min	5,88%	NQS
	1,14,12,13	\$ 17.000	100000	-140000	7,3	27 min	5,88%	NQS
V8	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	4,9	8 min	4,41%	Ac 72
	1,15	\$ 12.000	210000	2000	6,1	12 min	4,41%	Ac 72
	1,15	\$ 12.000	210000	2000	5,8	14 min	4,41%	Ac 72
	1,15	\$ 12.000	210000	2000	7,5	14 min	4,41%	Ac 72
V9	Óptimo	\$ 12.000	210000	2000	6,2	13 min	4,41%	Ac 72
	1,16,17	\$ 170.000	70000	-20000	7,1	18 min	2,94%	Aut Norte
	1,17,16	\$ 17.000	100000	-140000	7,7	21 min	5,88%	NQS

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el método de selección de opciones para la toma de decisiones:

Tabla 20 Método Maximin (maximizar la mínima ganancia).

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Mínimos costos
V1	Óptimo	98880	1730400	16480	16480
	1,2,3	140080	824000	-1153600	-1153600
	1,3,2	140080	824000	-1153600	-1153600
V2	Óptimo	41760	730800	6960	6960
	1,4	41760	730800	6960	6960
	1,4	41760	730800	6960	6960
	1,4	41760	730800	6960	6960

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Mínimos costos
V3	Óptimo	5280	92400	880	880
	1,5	5280	92400	880	880
	1,5	5280	92400	880	880
V4	Óptimo	5280	92400	880	880
	1,6	5280	92400	880	880
	1,6	5280	92400	880	880
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000	-154000
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000	-154000
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000	-1078000
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000	-154000
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000	-154000
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000	-154000
	Óptimo	88800	1554000	14800	14800
V6	1,10,11	88800	1554000	14800	14800
	1,11,10	88800	1554000	14800	14800
	Óptimo	96720	1692600	16120	16120
V7	1,12,13,14	137020	806000	-1128400	-1128400
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400	-1128400
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400	-1128400
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400	-1128400
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400	-1128400
	Óptimo	60000	1050000	10000	10000
V8	1,15	60000	1050000	10000	10000
	1,15	60000	1050000	10000	10000
	1,15	60000	1050000	10000	10000
	1,15	60000	1050000	10000	10000
V9	Óptimo	101280	1772400	16880	16880
	1,16,17	1434800	590800	-168800	-168800
	1,17,16	143480	844000	-1181600	-1181600

Fuente: Elaboración propia.

Las mejores opciones con este método son las señaladas en verde en el cuadro.

Minimax: encontrar la Mínima Ganancia de las máximas ganancias de las opciones.

Tabla 21 *Minimax.*

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)
V1	Óptimo	98880	1730400	16480
	1,2,3	140080	824000	-1153600
	1,3,2	140080	824000	-1153600
V2	Óptimo	41760	730800	6960
	1,4	41760	730800	6960
	1,4	41760	730800	6960
	1,4	41760	730800	6960
V3	Óptimo	5280	92400	880
	1,5	5280	92400	880
	1,5	5280	92400	880
V4	Óptimo	5280	92400	880
	1,6	5280	92400	880
	1,6	5280	92400	880
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000
V6	Óptimo	88800	1554000	14800
	1,10,11	88800	1554000	14800
	1,11,10	88800	1554000	14800
V7	Óptimo	96720	1692600	16120
	1,12,13,14	137020	806000	-1128400
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400
V8	Óptimo	60000	1050000	10000
	1,15	60000	1050000	10000
	1,15	60000	1050000	10000
	1,15	60000	1050000	10000
V9	Óptimo	101280	1772400	16880
	1,16,17	1434800	590800	-168800
	1,17,16	143480	844000	-1181600

Fuente: Elaboración propia.

Las mejores opciones son las señaladas en verde.

El siguiente método a aplicar es **Maximax**, el cual es el método más optimista de todos, selecciona la máxima ganancias de las máximas ganancias obtenidas de cada opción.

Tabla 22 *Maximax.*

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Máximos costos
V1	Óptimo	98880	1730400	16480	1730400
	1,2,3	140080	824000	-1153600	824000
	1,3,2	140080	824000	-1153600	824000
V2	Óptimo	41760	730800	6960	730800
	1,4	41760	730800	6960	730800
	1,4	41760	730800	6960	730800
	1,4	41760	730800	6960	730800
V3	Óptimo	5280	92400	880	92400
	1,5	5280	92400	880	92400
	1,5	5280	92400	880	92400
V4	Óptimo	5280	92400	880	92400
	1,6	5280	92400	880	92400
	1,6	5280	92400	880	92400
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000	1309000
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000	1309000
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000	770000
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000	1309000
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000	1309000
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000	1309000
V6	Óptimo	88800	1554000	14800	1554000
	1,10,11	88800	1554000	14800	1554000
	1,11,10	88800	1554000	14800	1554000
V7	Óptimo	96720	1692600	16120	1692600
	1,12,13,14	137020	806000	-1128400	806000
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400	806000
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400	806000
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400	806000
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400	806000

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Máximos costos
V8	Óptimo	60000	1050000	10000	1050000
	1,15	60000	1050000	10000	1050000
	1,15	60000	1050000	10000	1050000
	1,15	60000	1050000	10000	1050000
V9	Óptimo	101280	1772400	16880	1772400
	1,16,17	1434800	590800	-168800	1434800
	1,17,16	143480	844000	-1181600	844000

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa los valores de las opciones de varían dependiendo del criterio utilizado para la toma de decisiones.

Tabla 23 Método del Valor esperado.

Día Domingo 04/08/19	Ruta Óptima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Costo esperado
V1	Óptimo	98880	1730400	16480	649312
	1,2,3	140080	824000	-1153600	56032
	1,3,2	140080	824000	-1153600	56032
V2	Óptimo	41760	730800	6960	274224
	1,4	41760	730800	6960	274224
	1,4	41760	730800	6960	274224
	1,4	41760	730800	6960	274224
V3	Óptimo	5280	92400	880	34672
	1,5	5280	92400	880	34672
	1,5	5280	92400	880	34672
V4	Óptimo	5280	92400	880	34672
	1,6	5280	92400	880	34672
	1,6	5280	92400	880	34672
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000	673750
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000	673750
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000	52360
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000	673750
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000	673750
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000	673750

Día Domingo 04/08/19	Ruta Optima	Escenario 1 (\$Costo/Tn)	Escenario 2 (Costo/Tn)	Escenario 3 (Costo/Tn)	Costo esperado
V6	Óptimo	88800	1554000	14800	583120
	1,10,11	88800	1554000	14800	583120
	1,11,10	88800	1554000	14800	583120
V7	Óptimo	96720	1692600	16120	635128
	1,12,13,14	137020	806000	-1128400	54808
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400	54808
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400	54808
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400	54808
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400	54808
V8	Óptimo	60000	1050000	10000	394000
	1,15	60000	1050000	10000	394000
	1,15	60000	1050000	10000	394000
	1,15	60000	1050000	10000	394000
V9	Óptimo	101280	1772400	16880	665072
	1,16,17	1434800	590800	-168800	738500
	1,17,16	143480	844000	-1181600	57392
Probabilidad de ocurrencia		40%	35%	25%	

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se deben tomar decisiones con diferentes riesgos, ahora se tomará como criterio la selección de la ruta óptima con menor siniestralidad mortal.

Análisis de escenarios para seleccionar la ruta menos siniestrada

A continuación, se presenta el resultado de buscar la mejor ruta con el menor costo por atrasos evitan las rutas de mayor tasa de siniestralidad. Aplicando el método a la misma ruta se obtiene:

Tabla 24 Mortalidad.

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/ Tn)	Escenario 2 (Costo/ Tn)	Escenario 3 (Costo/ Tn)	Km	Tiempo	% mortalidad	Eje vial
V1	Óptimo	98880	1730400	16480	5,8	13 min	4,41%	Ac 72
	1,2,3	140080	824000	-1153600	6,6	19 min	5,88%	NQS
	1,3,2	140080	824000	-1153600	6,1	15 min	5,88%	NQS
V2	Óptimo	41760	730800	6960	2,4	6 min	4,41%	Ac 72
	1,4	41760	730800	6960	2,7	9 min	4,41%	Ac 72
	1,4	41760	730800	6960	2,9	10 min	4,41%	Ac 72
	1,4	41760	730800	6960	3,5	12 min	4,41%	Ac 72
V3	Óptimo	5280	92400	880	2,8	8 min	4,41%	Ac 72
	1,5	5280	92400	880	3,7	11 min	4,41%	Ac 72
	1,5	5280	92400	880	4,8	14 min	4,41%	Ac 72
V4	Óptimo	5280	92400	880	1	3 min	4,41%	Ac 72
	1,6	5280	92400	880	1,3	4 min	4,41%	Ac 72
	1,6	5280	92400	880	2,1	5 min	4,41%	Ac 72
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000	6,2	21 min	2,94%	Aut Norte
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000	7,9	27 min	2,94%	Aut Norte
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000	12,7	37 min	5,88%	NQS
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000	9,4	26 min	2,94%	Aut Norte
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000	10,5	34 min	2,94%	Aut Norte
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000	11,1	34 min	2,94%	Aut Norte
V6	Óptimo	88800	1554000	14800	4,7	18 min	4,41%	Ac 72
	1,10,11	88800	1554000	14800	8,4	27 min	4,41%	Ac 72
	1,11,10	88800	1554000	14800	5,4	21 min	4,41%	Ac 72
V7	Óptimo	96720	1692600	16120	6	23 min	4,41%	Ac 72
	1,12,13,14	137020	806000	-1128400	8,3	31 min	5,88%	NQS
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400	8,3	32 min	5,88%	NQS
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400	8,1	30 min	5,88%	NQS
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400	7,8	30 min	5,88%	NQS
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400	7,3	27 min	5,88%	NQS
V8	Óptimo	60000	1050000	10000	4,9	8 min	4,41%	Ac 72
	1,15	60000	1050000	10000	6,1	12 min	4,41%	Ac 72
	1,15	60000	1050000	10000	5,8	14 min	4,41%	Ac 72
	1,15	60000	1050000	10000	7,5	14 min	4,41%	Ac 72
V9	Óptimo	101280	1772400	16880	6,2	13 min	4,41%	Ac 72
	1,16,17	1434800	590800	-168800	7,1	18 min	2,94%	Aut Norte
	1,17,16	143480	844000	-1181600	7,7	21 min	5,88%	NQS

Fuente: Elaboración propia.

El valor óptimo para esta ruta es la opción 9. Se evidencia que, en las diferentes rutas propuestas por vehículo, muchas tienen el mismo índice de mortalidad, por lo que no influye en la decisión de cambiar o no de ruta.

Selección del mejor escenario cuando el riesgo es pasar por rutas en áreas con alto nivel de material particulado respirable

Impacto ambiental: ajustar su ruteo a las rutas menos contaminadas según capa de mapa asignada para ello.

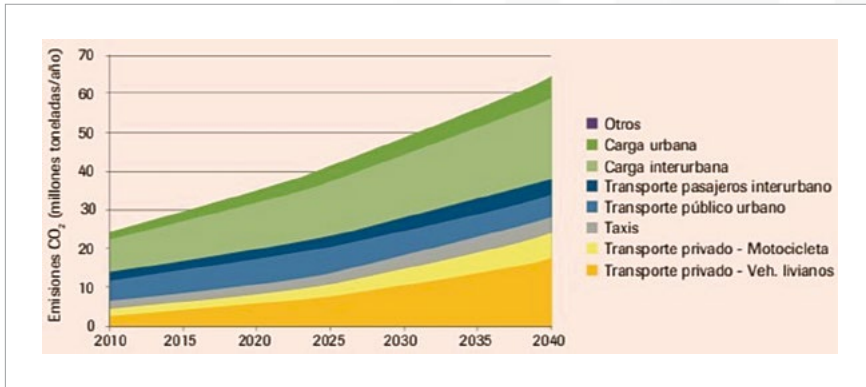


Figura 45 Emisiones de CO₂ asociadas al transporte.

Fuente: Tomada del Ministerio de Ambiente "Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial en el sector de transporte, 2014".

Se tomó la mejor decisión de riesgo con base en la construcción de funciones de utilidad así:

Suponga que hay cuatro (4) alternativas para diseñar un sistema logístico en el principal eje vial de distribución de su producto. La decisión depende de la velocidad (no congestión de la ruta) y del impacto ambiental. Además, para quien toma la decisión es más importante el criterio de velocidad que el impacto ambiental.

De acuerdo con la información disponible, las alternativas sobre las cuales se puede tomar la decisión son:

E1={alta velocidad y bajo impacto ambiental}

E2={alta velocidad y alto impacto ambiental}

E3={baja velocidad y bajo impacto ambiental}

E4={baja velocidad y alto impacto ambiental}

Con base en el criterio escogido por quien toma la decisión, las alternativas se pueden organizar en orden de preferencia de la siguiente forma:

$$E1 > E2 > E3 > E4$$

Los resultados de aplicar este método son los siguientes:

Tabla 25 Impacto ambiental.

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/ Tn)	Escenario 2 (Costo/ Tn)	Escenario 3 (Costo/ Tn)	Km	Tiempo	Impacto ambiental
V1	Óptimo	98880	1730400	16480	5,8	13 min	FAVORABLE
	1,2,3	140080	824000	-1153600	6,6	19 min	FAVORABLE
	1,3,2	140080	824000	-1153600	6,1	15 min	FAVORABLE
V2	Óptimo	41760	730800	6960	2,4	6 min	FAVORABLE
	1,4	41760	730800	6960	2,7	9 min	FAVORABLE
	1,4	41760	730800	6960	2,9	10 min	FAVORABLE
	1,4	41760	730800	6960	3,5	12 min	FAVORABLE
V3	Óptimo	5280	92400	880	2,8	8 min	FAVORABLE
	1,5	5280	92400	880	3,7	11 min	FAVORABLE
	1,5	5280	92400	880	4,8	14 min	FAVORABLE
V4	Óptimo	5280	92400	880	1	3 min	FAVORABLE
	1,6	5280	92400	880	1,3	4 min	FAVORABLE
	1,6	5280	92400	880	2,1	5 min	FAVORABLE
V5	Óptimo	1309000	539000	-154000	6,2	21 min	FAVORABLE
	1,7,8,9	1309000	539000	-154000	7,9	27 min	FAVORABLE
	1,8,7,9	130900	770000	-1078000	12,7	37 min	FAVORABLE
	1,8,9,7	1309000	539000	-154000	9,4	26 min	FAVORABLE
	1,9,8,7	1309000	539000	-154000	10,5	34 min	FAVORABLE
	1,9,7,8	1309000	539000	-154000	11,1	34 min	FAVORABLE
V6	Óptimo	88800	1554000	14800	4,7	18 min	FAVORABLE
	1,10,11	88800	1554000	14800	8,4	27 min	FAVORABLE
	1,11,10	88800	1554000	14800	5,4	21 min	FAVORABLE
V7	Óptimo	96720	1692600	16120	6	23 min	FAVORABLE
	1,12,13,14	137020	806000	-1128400	8,3	31 min	FAVORABLE
	1,13,12,14	137020	806000	-1128400	8,3	32 min	FAVORABLE
	1,13,14,12	137020	806000	-1128400	8,1	30 min	FAVORABLE

Día Domingo 04/08/19	Ruta óptima	Escenario 1 (\$Costo/ Tn)	Escenario 2 (Costo/ Tn)	Escenario 3 (Costo/ Tn)	Km	Tiempo	Impacto ambiental
	1,14,13,12	137020	806000	-1128400	7,8	30 min	FAVORABLE
	1,14,12,13	137020	806000	-1128400	7,3	27 min	FAVORABLE
V8	Óptimo	60000	1050000	10000	4,9	8 min	FAVORABLE
	1,15	60000	1050000	10000	6,1	12 min	FAVORABLE
	1,15	60000	1050000	10000	5,8	14 min	FAVORABLE
	1,15	60000	1050000	10000	7,5	14 min	FAVORABLE
V9	Óptimo	101280	1772400	16880	6,2	13 min	FAVORABLE
	1,16,17	1434800	590800	-168800	7,1	18 min	FAVORABLE
	1,17,16	143480	844000	-1181600	7,7	21 min	FAVORABLE

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa el cuadro de análisis del método, el impacto ambiental no es un factor que influye en la toma de decisión de la mejor ruta, debido a que en Bogotá son muy pocas las vías afectadas por el material particulado en el aire y en este caso todas las vías están en un lugar con aire favorable.

En conclusión, los sobre costos por asumir como único criterio de selección de ruta la distancia y no los criterios antes desarrollados se optimice en la siguiente tabla de sobrecostos para este viaje:

Tabla 26 Sobrecosto por seguridad por tonelada.

Día Domingo 04/08/19	Ruta Optima	\$Costo/Tn	Km	Tiempo (Min)	Diferencia en Tiempo (Min)
V1	Óptimo	98880	5,8	13	0
	1,2,3	168096	6,6	19	6
	1,3,2	168096	6,1	15	2
V2	Óptimo	41760	2,4	6	6
	1,4	50112	2,7	9	3
	1,4	50112	2,9	10	4
	1,4	50112	3,5	12	6
V3	Óptimo	5280	2,8	8	0
	1,5	6336	3,7	11	3
	1,5	6336	4,8	14	6

Día Domingo 04/08/19	Ruta Optima	\$Costo/Tn	Km	Tiempo (Min)	Diferencia en Tiempo (Min)
V4	Óptimo	5280	1	3	0
	1,6	6336	1,3	4	1
	1,6	6336	2,1	5	2
V5	Óptimo	1309000	6,2	21	0
	1,7,8,9	1570800	7,9	27	6
	1,8,7,9	183260	12,7	37	16
	1,8,9,7	1570800	9,4	26	5
	1,9,8,7	1570800	10,5	34	13
	1,9,7,8	1570800	11,1	34	13
V6	Óptimo	88800	4,7	18	0
	1,10,11	106560	8,4	27	9
	1,11,10	106560	5,4	21	3
V7	Óptimo	96720	6	23	0
	1,12,13,14	164424	8,3	31	8
	1,13,12,14	164424	8,3	32	9
	1,13,14,12	164424	8,1	30	7
	1,14,13,12	164424	7,8	30	7
	1,14,12,13	164424	7,3	27	4
V8	Óptimo	60000	4,9	8	0
	1,15	72000	6,1	12	4
	1,15	72000	5,8	14	6
	1,15	72000	7,5	14	6
V9	Óptimo	101280	6,2	13	0
	1,16,17	1721760	7,1	18	5
	1,17,16	172176	7,7	21	8

Fuente: Elaboración propia., Unilibre, 2019.

Árbol de decisiones

Cuando el conductor está en operación debe tomar decisiones con la información que tiene disponible, su método de toma de decisiones frente al riesgo ce una alternativa a otra está representada por la probabilidad de ocurrencia y costos asociados.

El resultado de este método es el árbol de decisiones que se presenta a continuación, por su nivel de detalle solo se presentará la parte superior del mismo:

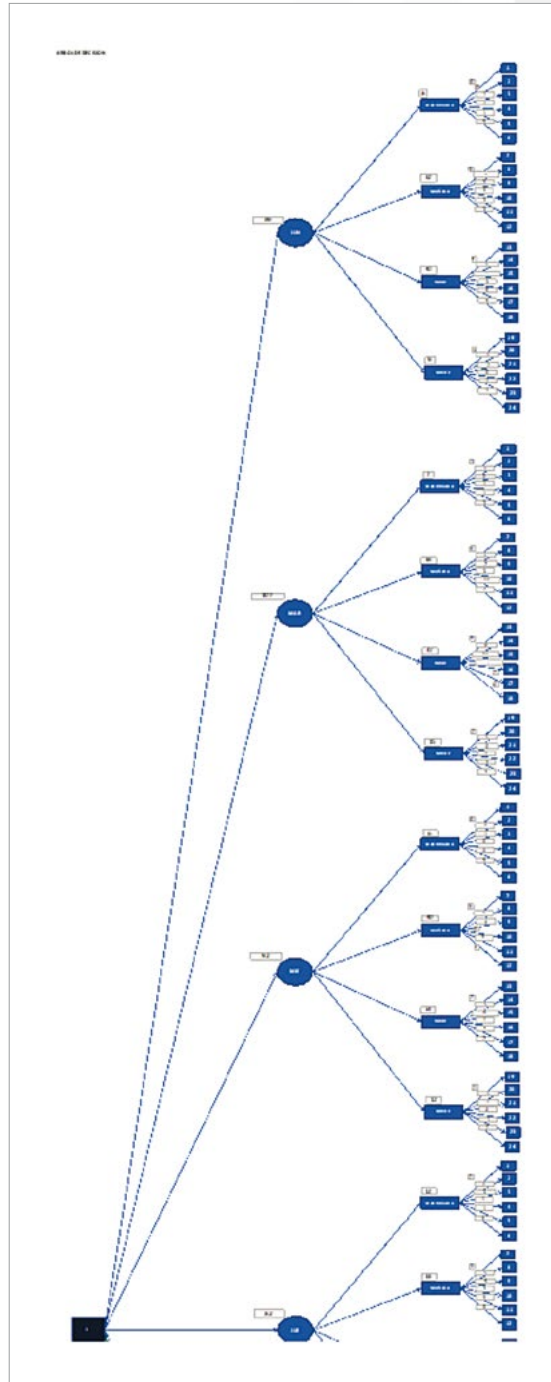


Figura 46 *Árbol de decisiones.*

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el árbol de decisiones, es complejo y extenso la cantidad de alternativas condicionadas de solución. En este caso solo la opción en verde fue la mejor opción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puesto que el análisis de riesgos es el importante para la toma de decisiones, las técnicas aquí utilizadas para poder cuantificar y mejorar la efectividad de las decisiones.

- El reto es poder proporcionar información previa y durante el proceso de distribución urbana, donde la cantidad de variables externas que afectan el proceso genera escenarios de riesgo cambiantes de manera constante.
- Uno de los métodos más utilizados es el Valor Esperado y los árboles de decisión ya que presentan un escenario y respuesta promedio de las opciones. Los otros métodos son eficientes a corto plazo únicamente. Y aun así es posible que al seleccionar una opción se esté dejando de ganar por posturas muy conservadoras.
- La actitud de quien toma la decisión se ve reflejada en los métodos como minimax ó maximax donde se muestra la aversión ó atracción por el riesgo.
- Uno de los principales retos es obtener información en tiempo real para el análisis y toma de decisiones. En las metodologías presentadas se usó datos históricos como base para definir las probabilidades de ocurrencia de los eventos. Esto dificulta la realización de estos métodos, por lo que se tiende a usar métodos como el árbol de decisiones que se parece más a la lógica de las decisiones humanas.
- Por lo tanto, debe aplicarse una estrategia integral de toma de decisiones bajo riesgo, dependiendo de la naturaleza del problema, los diferentes factores generadores de riesgo, así como los criterios de evaluación.
- A pesar de la información relevante que ofrecen estos métodos para la toma de decisiones con riesgos, es importante anotar que esta decisión está expuesta a cambios permanentes por lo que es necesario volver a calcular los resultados de nuevo para tomar otra decisión, lo cual cuestiona su eficiencia.

TRABAJO EN AULA PROPUESTO

- 1) Replique los resultados y la metodología propuesta en este trabajo.
- 2) Discuta sobre los resultados.
- 3) Proponga nuevos casos donde se pueda aplicar esta metodología.
- 4) Después de obtener los resultados, compare con las conclusiones de este capítulo y discútalo.

BIBLIOGRAFÍA

- PMLiVE. (4 de 2016). PMLiVE. Obtenido de http://www.pmlive.com/intelligence/healthcare_glossary_211509/Terms/p/peer_to_peer_p2p_marketing
- HeadWays . (4 de 2016). HeadWays. Obtenido de <http://www.headways.com.mx/glosario-mercadotecnia/definicion/penetracion-de-mercado/>
- Herrera, F. (8 de 6 de 2013). *Marketing en redes sociales*. Obtenido de <http://marketingredesociales.com/que-es-y-para-que-sirve-el-geomarketing.html/>
- Rouse, M. (2014). *Big Data Analytics*. Obtenido de <http://searchbusinessanalytics.techtarget.com/definicion/big-data-analytic>
- Robles Algarín, C. A. (2010). Optimización por colonia de hormigas: aplicaciones y tendencias. *Ingeniería Solidaria*, 6(10), 93-89.
- Naciones Unidas. (2018). *Objetivos de Desarrollos Sostenible*, . New York: Naciones Unidad.
- CAF. (2019). *LOGUS Guía de Buenas Prácticas en Logística Urbana Sostenible y Segura* (Vol. 1). Rosario, Argentina: Corporación Andina de Fomento.
- Espinosa, M. (2005). Caracterización del material particulado en vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. *Revista de Ingeniería de Universidad de los andes*, 50-81.
- Icontec. (diciembre de 2019). GTC 137 Gestión del Riesgo Vocabulario. *Compendio NTC Gestión del Riesgo*. Bogotá, Colombia: Icontec.
- Gregory L. Schlegel, R. J. (2014). *Gestión de riesgos de la cadena de suministro Una disciplina emergente*. New York: CRC Press.
- Clemen, R. (1996). *making hard decisions: an introduction to decision analysis*. Duxbury,: Pacific Grove

GLOSARIO

- *Gestión del riesgo*: Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo (numeral 1.1., GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).
- *Riesgo*: Efecto de la Incertidumbre sobre los objetivos (numeral 2.1. NTC-Iso 31.00).

- *Exposición*: Extensión hasta la cual una organización, una parte involucrada o ambas que están sujetas a un evento. (numeral 3.6.1.2. GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).
- *Probabilidad*: Medida de la oportunidad de la ocurrencia, expresada como un número entre 0 y 1, en donde 0 es la imposibilidad y 1 es la certeza absoluta. (numeral 3.6.1.4 GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).
- *Consecuencia*: Resultado de un Evento (numeral 3.6.1.3. GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).
- *Nivel de riesgo*: Magnitud de riesgo o de una combinación de riesgos, expresada en términos de la combinación de las consecuencias y su posibilidad. (GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).
- *Control*: medida que modifica el riesgo. (GTC 137 Gestión del riesgo vocabulario).

Casos de estudio en Gestión de Operaciones
y Logística. Una contribución a la formación
en investigación cualitativa y cuantitativa.

Experiencias Grupo CINDES

Se terminó de producir en diciembre de 2020.
Las fuentes tipográficas empleadas son Source Sans Pro
Light en 11 puntos en texto corrido
y Source Sans Pro Light en 18 y 11 puntos en títulos.



Este libro ha sido elaborado por el equipo de docentes investigadores del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Libre sede Bogotá, en el marco de las acciones del Grupo de Investigación *Ciencia e Ingeniería para el Desarrollo Sustentable - CINDES* en el proceso de apoyo a la línea de Investigación de Gestión de Operaciones y Logística.

CINDES ha considerado apoyar, mediante este libro, la transferencia de conocimiento para estudiantes de pregrado y posgrados interesados en profundizar sobre las dinámicas de investigación en el campo de la gestión de operaciones y logística. Para lograr este objeto se detallan diferentes experiencias en investigación, que invitan a los lectores a poner los conocimientos en práctica para la solución de problemas empresariales y sectoriales, y a su vez replicar la experiencia para apropiarse de las metodologías desarrolladas en cada capítulo, bajo el esfuerzo de lograr la interacción de la práctica y la teoría desde la perspectiva del método científico.

Además, permite una visión integral para identificar metodologías interesantes para la solución de problemas como i) la gráficación de redes logísticas de tres eslabones, ii) la metodología para entender el comportamiento de las cadenas de suministro agroindustriales, iii) la solución a problemas de ruteo con ventanas de tiempo, iv) el modelo comercial de la cadena abastecimiento agrícolas, y v) la gestión del riesgo de la distribución. En este sentido, esta contribución se extiende a un ejercicio de investigación de profesores y estudiantes, como material académico que puede ser usado para discusión en el aula de clase, en asignaturas relacionadas con Investigación de Operaciones, Logística e Investigación Aplicada.



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**
Vigilada Mineducación



ISBN 958-978-5578-91-3



9 789585 578913