

Gestión de inventarios  
Gestión del conocimiento  
Gestión de mantenimiento

Norman David Yuseff

Eduardo José Alvarado

Hernando Augusto García

Juan José Cardona

Andrés López Astudillo

Juan Carlos Garzón



**BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA**

**GESTIÓN DE INVENTARIOS  
GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO  
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**



BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA

**GESTIÓN DE INVENTARIOS  
GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO  
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

*Norman David Yuseff Moreno  
Eduardo José Alvarado Quintero  
Hernando Augusto García Ovalle  
Juan José Cardona Melo  
Andrés López Astudillo  
Juan Carlos Garzón Osorio*

*Editorial Universidad Icesi, 2020*

**Gestión de inventarios - Gestión del conocimiento - Gestión de mantenimiento**

© Norman David Yuseff M., Eduardo José Alvarado Q., Hernando Augusto García O., Juan José Cardona M., Andrés López A., Juan Carlos Garzón O.

1 ed. Cali, Colombia. Universidad Icesi, 2020

172 p., 19x24 cm

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-5590-32-8 (PDF)

<https://doi.org/10.18046/EUI/bm.6.2020>

1. Requirements management 2. Knowledge management 3. Maintenance engineering I.Tit  
629 – dc22

© Universidad Icesi, 2020

Facultad de Ingeniería

Colección: Bitácoras de la maestría, vol. 6.

Rector: Francisco Piedrahita Plata

Decano Facultad de Ingeniería: Gonzalo Ulloa Villegas

Coordinador editorial: Adolfo A. Abadía



Producción y diseño: Claros Editores SAS.

Editor: José Ignacio Claros V.

La publicación de este libro se aprobó luego de superar un proceso de evaluación doble ciego por dos pares expertos. El contenido de esta obra no compromete el pensamiento institucional de la Universidad Icesi ni le genera responsabilidades legales, civiles, penales o de cualquier otra índole, frente a terceros.



Calle 18 #122-135 (Pance), Cali-Colombia  
editorial@icesi.edu.co  
[www.icesi.edu.co/editorial](http://www.icesi.edu.co/editorial)  
Teléfono: +57(2) 555 2334

La serie Bitácoras de la Maestría es una publicación de la Universidad Icesi que tiene como objetivo mejorar la difusión de los trabajos de grado meritorios de sus estudiantes, exponiéndolos a un público más amplio, no necesariamente académico, que pueda aprovecharlos en su cotidianidad. Se trata de “mover” las tesis, desde los anaqueles de las bibliotecas, hacia las manos de los actores de la vida diaria y establecer un vínculo entre autores y potenciales usuarios. Cuando el volumen se origina en la Facultad de Ingeniería, en cada volumen se incluyen tres trabajos con temática diversa. Por lo heterogéneo de su contenido, el nombre de cada volumen está compuesto por el nombre de la serie y el de los tres temas que incluye.

## **Norman D. Yuseff M.**

Ingeniero Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (Cali, Colombia) y Especialista en Administración y Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Tiene amplia experiencia en dirección administrativa de Mipymes del sector servicios (salud, suministros médicos y de alimentos, mantenimiento de aire acondicionado y construcción), con alto interés y enfoque en la mejora de los procesos de administración del inventario y proyectos de implementación de tecnologías de la información. Es Director Administrativo en Proyelco, empresa contratista en instalaciones eléctricas residenciales y urbanismo de las principales constructoras de la ciudad de Cali. jlayuseff@hotmail.com

## **Eduardo José Alvarado Quintero**

Profesional y Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali, Colombia), certificado Green Belt de Lean Six Sigma, con más de once años de experiencia en cadena de abastecimiento. En Kraft Foods se desempeñó como analista de manufactura e ingeniero de proyectos Capex; en Mondelez International ha sido analista senior de logística y líder del proyecto de implementación del módulo WMS (SAP) para Colombia, Perú y Venezuela, y actualmente, como especialista de procesos para *Order To Cash* en Latinoamérica, lidera iniciativas regionales de mejora en sistemas relacionados con SAP y proyectos que facilitan los procesos operativos.

## **Hernando Augusto García Ovalle**

Ingeniero Mecánico de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) con Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Se ha desempeñado en el área de mantenimiento de equipo móvil, inicialmente en empresas de infraestructura. Actualmente está vinculado a Smurfit Kappa Cartón de Colombia, en donde se desempeña como ingeniero de mantenimiento de los equipos forestales de una de las tres zonas establecidas por la empresa. heraugar@gmail.com

## **Juan José Cardona Melo**

Ingeniero Industrial e Ingeniero de Sistemas, con Maestría en Administración de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Es profesor de tiempo completo del Departamento de Ingeniería Industrial de dicha universidad e integrante del grupo de investigación iCubo. Sus áreas de interés profesional son: el diseño de sistemas de producción y distribución de planta, los sistemas Lean, la gestión de cadenas de abastecimiento y la educación en Ingeniería. [jjcardona@icesi.edu.co](mailto:jjcardona@icesi.edu.co)

## **Andrés López Astudillo**

Profesor de tiempo completo, Director de la Especialización en Logística y miembro del grupo de investigación iCubo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Es Doctor en Dirección de Empresas (Universitat de València, España), Magíster en Sociedad de la Información y el Conocimiento (Universitat Oberta de Catalunya, España) y MBA, Especialista en Gerencia de Mercadeo y Gerencia de Producción y Administrador de Empresas de la Universidad Icesi. Sus áreas de interés en investigación son: sostenibilidad ambiental con énfasis en la medición de la huella de carbono en agricultura; logística y cadenas de suministro. [alopez@icesi.edu.co](mailto:alopez@icesi.edu.co)

## **Juan Carlos Garzón Osorio**

Ingeniero Eléctrico de la Universidad Nacional de Colombia (Manizales); Especialista en Calidad Total y Productividad, Máster en Administración de Empresas y Máster en Ciencias de la Organización de la Universidad del Valle (Cali, Colombia); Especialista en Gerencia de Producción de la Universidad Icesi (Cali); y Doctor en Dirección de Empresas, Estrategia y Organización de la Universitat de València (España). Es profesor de tiempo completo y Director de la Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. [jcgarzon@icesi.edu.co](mailto:jcgarzon@icesi.edu.co)



# Tabla de contenido

Presentación .....	21
Modelo de gestión del inventario para una PYME contratista del sector de la construcción	23
Resumen	25
Introducción	26
Contexto	27
Identificación del problema y los objetivos	29
Marco teórico	34
Antecedentes	36
Resultados	38
Modelo actual de gestión del inventario	38
Nuevo modelo de gestión del inventario	43
Validación y simulación financiera del efecto del modelo propuesto	49
Presentación modelo de gestión del inventario en Vensim PLE	53
Conclusiones y recomendaciones	65
Referencias	67
Anexo 1. Formulación del modelo actual	69
Anexo 2. Formulación del modelo propuesto	74

<b>Diseño de un modelo de gestión del conocimiento para el área de logística de una empresa multinacional</b>	<b>81</b>
Resumen	83
Introducción	84
Situación inicial	85
Marco teórico	90
Marco de referencia	94
Modelo propuesto	100
Análisis de resultados	109
Conclusiones y recomendaciones	110
Referencias	111
<b>Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal</b>	<b>113</b>
Resumen	115
Introducción	116
Antecedentes	119
Valoración de la situación actual	131
Criticidad	131
Gestión del mantenimiento	145
Propuesta de gestión de mantenimiento	149
Brechas para la gestión del mantenimiento	149
Propuesta de gestión de mantenimiento	156
Conclusiones	160
Referencias	164
Anexo 1. Encuesta sobre la percepción de la gestión de mantenimiento en la empresa	167

# Índice de Tablas

---

## MODELO DE GESTIÓN DEL INVENTARIO PARA UNA PYME CONTRATISTA DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

---

Tabla 1. Causales y su valoración	31
Tabla 2. Factores clave del modelo propuesto de gestión de inventario frente al modelo actual	44
Tabla 3. Resultados de la validación financiera del modelo	50
Tabla 4. Parámetros constantes en la modelación	54
Tabla 5. Selección de la mejor política de inventarios para el modelo propuesto	59
Tabla 6. Modelo actual vs modelo propuesto: evaluación comparativa de las simulaciones	64

---

## DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL ÁREA DE LOGÍSTICA DE UNA EMPRESA MULTINACIONAL

---

Tabla 1. Capital intelectual: tipos de activo	91
Tabla 2. Formas de creación de conocimiento	99
Tabla 3. Valoración del modelo vs situación actual	106
Tabla 4. Hallazgos	108
Tabla 5. Fases del plan de acción específico	109

---

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA FORESTAL**

---

Tabla 1. Sistemas de mantenimiento y sus características	121
Tabla 2. Matriz de gestión de mantenimiento	127
Tabla 3. Análisis de criticidad	130
Tabla 4. Capacidad de producción por equipo y personas en la labor	135
Tabla 5. Matriz 5W-1H: causas de la baja disponibilidad de los equipos	143
Tabla 6. Situación actual de la empresa versus modelos teóricos de gestión de mantenimiento	146
Tabla 7. Matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento	158
Tabla 8. Cronograma	161

# Índice de Figuras

---

## MODELO DE GESTIÓN DEL INVENTARIO PARA UNA PYME CONTRATISTA DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

---

Figura 1. Diagrama causal: primer nivel, mano de obra e infraestructura	30
Figura 2. Diagrama causal: primer nivel, procesos y entorno	30
Figura 3. Diagrama causal: primer nivel, materiales y administración	31
Figura 4. Distribución de las compras para el proyecto 1	51
Figura 5. Distribución de las compras para el proyecto 2	52
Figura 6. Sistema de inventarios del modelo real actual	55
Figura 7. Sistema financiero modelo real actual	56
Figura 8. Sistema de inventarios del modelo propuesto	56
Figura 9. Sistema financiero del modelo propuesto	57
Figura 10. Comparativo de la rotación de inventarios para las cuatro mejores políticas del modelo propuesto	58
Figura 11. Entradas y salidas de inventario en el modelo actual	60
Figura 12. Ingresos y egresos en el modelo actual	60
Figura 13. Entradas y salidas de inventario en el modelo propuesto	61
Figura 14. Ingresos y egresos en el modelo propuesto	61
Figura 15. Modelo actual vs modelo propuesto: niveles de inventario	62

Figura 16. Modelo actual vs modelo propuesto: CTR Periódico	62
Figura 17. Modelo actual vs modelo propuesto: adición de efectivo desde la facturación	63
Figura 18. Modelo actual vs modelo propuesto: flujo de caja neto operativo	63

---

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL ÁREA DE LOGÍSTICA DE UNA EMPRESA MULTINACIONAL**

---

Figura 1. Causas y efectos del desconocimiento de la gestión del conocimiento en la empresa	88
Figura 2. Causas de la ausencia de un modelo de gestión del conocimiento en el área de OTC de la empresa	90
Figura 3. Relación de los conceptos del marco teórico	95
Figura 4. Integración del modelo propuesto	103
Figura 5. Valor agregado al área de OTC a partir del modelo propuesto de gestión del conocimiento	104

---

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA FORESTAL**

---

Figura 1. Diagrama de flujo de la cosecha mecanizada	117
Figura 2. Entradas de materia prima para pulpa desde la zona sur a la planta en Yumbo	118
Figura 3. Disponibilidad de equipos	118
Figura 4. Tipos de Mantenimiento	123
Figura 5. Ciclo de gestión de mantenimiento	126
Figura 6. Matriz de evaluación del riesgo	129
Figura 7. Frecuencia de intervenciones por sistemas en familia de equipos	132
Figura 8. Frecuencia de intervenciones por familia de equipos en sistemas	133

Figura 9. Proceso de cosecha mecanizada y vías: equipos y su nivel de criticidad	134
Figura 10. Excavadora	136
Figura 11. Arrastrador de troncos	137
Figura 12. Winche	138
Figura 13. Torre de madereo	140
Figura 14. Grúa	140
Figura 15. Cargador trineumático	141
Figura 16. Tractor cargador	142
Figura 17. Participación del mantenimiento preventivo / familia de equipos	145
Figura 18. Políticas, estrategias y objetivos	150
Figura 19. Impacto de los equipos en la línea de producción	150
Figura 20. Enfoque de mantenimiento	151
Figura 21. Identificación de trabajos a realizar	151
Figura 22. Planificación y programación actividades	153
Figura 23. Ejecución de actividades	153
Figura 24. Gestión de los recursos humanos	154
Figura 25. Gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento	154
Figura 26. Aspectos económicos	155
Figura 27. Mejoramiento continuo	155
Figura 28. <i>Roadmap</i> de la propuesta de gestión de mantenimiento	157



---

# Acrónimos

---

## MODELO DE GESTIÓN DEL INVENTARIO PARA UNA PYME CONTRATISTA DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

---

AIU	Administración Imprevistos Utilidad
APU	Análisis de Precios Unitarios
BIM	Buiding Information Modelling
CTR	Costo Total Relevante
DTF	Depósito a Término Fijo
EOQ	Modelo de Wilson
IPC	Índice de Precios al Consumidor
IVA	Impuesto al Valor Agregado
JIT	Just In Time
MRP	Material Requirement Planning
OC	Orden de compra
PYME	Pequeña Y Mediana Empresa
RQ	Requisición
SGRO	Sistema de Gestión de Recursos de Obra
SKU	Stock-Keeping Unit
SMMLV	Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes
VENSIM	Ventana Simulator
VPN	Valor Presente Neto
VSM	Value Stream Mapping

---

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL ÁREA DE  
LOGÍSTICA DE UNA EMPRESA MULTINACIONAL**

---

BPO	Business Process Outsourcing
BPS	Business Process Specialist
CS&L	Customer Service and Logistics
CSC	Centros de Servicio Compartidos
DOKB	Distributed Organizational Knowledge Base
ERP	Enterprise Resource Planning
OTC	Order to Cash
SOP	Standard Operating Procedure
WACAM	Western Andean and Central America

---

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA FORESTAL**

---

ABM	Avoid-Based Maintenance
ACM	Availability Centered Maintenance
AGM	Age-Based Maintenance
BBM	Block-Based Maintenance
BCM	Business Centered Maintenance
C	Crítico
CBM	Condition-Based Maintenance
CIM	Constant-Interval Maintenance
CM	Condition Monitoring
CMMS	Computerized Maintenance Management System
DBM	Detection-Based Maintenance
DOM	Design-Out Maintenance
FTM	Fixed-Time Maintenance
IBM	Inspection-Based Maintenance
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
LBM	Life-Based Maintenance
MTBF	Mean Time Between Failures
NC	No Crítico
OEE	Overall Equipment Effectiveness

PPM	Planned Preventive Maintenance
QFD	Quality Function Deployment
RBM	Risk-Based Maintenance
RCM	Reliability Centered Maintenance
SC	Semicrítico
TBM	Time-Based Maintenance
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Maintenance
UBM	Use-Based Maintenance



# Presentación

Utilizar los recursos disponibles para lograr los objetivos de la manera más eficaz y eficiente podría ser una forma poco ortodoxa, pero práctica, de definir el *management*, la palabra inglesa que usualmente se traduce como gestión. De eso se trata la gerencia. En este libro ese es el concepto clave y se asocia a tres aspectos puntuales, dos de ellos muy prácticos, la gestión del inventario y la gestión del mantenimiento, uno menos tangible –pero no por ello menos importante–, la gestión del conocimiento.

El primer capítulo propone un modelo para la gestión del inventario en una PYME contratista del sector de la construcción. La necesidad de este modelo es claro pues la empresa en cuestión había tenido cuatro alertas de insuficiencia de caja durante el último año –con el consecuente riesgo de no contar con suficientes recursos para operar–, un problema ocasionado por el manejo no óptimo de los inventarios que congeló recursos en ellos innecesariamente. Como respuesta a esta problemática se desarrolló un nuevo modelo y se definió una nueva política, cuyas bondades se evaluaron mediante la simulación financiera de dos proyectos reales realizados por la empresa (datos históricos vs datos obtenidos bajo la nueva propuesta) y el cálculo de indicadores de costo, rentabilidad y liquidez. El ejercicio demostró la capacidad del nuevo modelo, no solo para reducir el riesgo de iliquidez, sino también para mejorar su rentabilidad. Reconociendo que nada en una empresa está desconectado del resto, el capítulo termina con una serie de recomendaciones dirigidas a hacer viable y optimizar el modelo.

La gestión del conocimiento –el único recurso económico con sentido en la sociedad, según Drucker–, es el tema del segundo capítulo; en él se presenta el diseño de un modelo de este tipo para el área de logística de una empresa

## Presentación

multinacional. El contexto de este diseño es muy particular pues se hace en un momento de cambio, donde las operaciones del ciclo *order to cash* se han tercerizado en un típico *Business Process Outsourcing* [BPO], con su consecuente riesgo de pérdida de la memoria institucional (la de las oficinas de cada país) como efecto de la búsqueda de optimización y estandarización. El modelo propuesto para esta “nueva” organización le permite a la compañía administrar de manera estructurada su capital intelectual, específicamente el conocimiento organizacional, y disminuir los riesgos del proceso de tercerización, mejorar los controles y agregar valor a toda la organización.

El tercer capítulo aborda otro tema práctico, la gestión del mantenimiento de una unidad crítica para la provisión de materias primas: la división forestal de una gran empresa papelera. El resultado de este trabajo de investigación se materializa con una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de la división que logra: mejorar la disponibilidad de los equipos; cambiar las proporciones del tipo de mantenimiento, aumentando el preventivo –menos costoso, con menos sobresaltos– y reduciendo el correctivo –más costoso y con mayor potencial de generar efectos indeseables en otras áreas de la empresa–; reducir sus tiempos improductivos; y facilitar el logro de su misión, el abastecimiento de materia prima a la planta. El análisis del producto final permite concluir que lo propuesto para la gestión de mantenimiento, no solo es un camino viable, sino un punto de partida para otras mejoras en la unidad.

José Ignacio Claros V.  
Editor

# MODELO DE GESTIÓN DEL INVENTARIO PARA UNA PYME CONTRATISTA DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Norman David Yuseff Moreno, MSc.

Juan José Cardona Melo, MBA.

## **Citación**

Yuseff, N. & Cardona, J. J. (2020). Modelo de gestión del inventario para una PYME contratista del sector de la construcción. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 6, *Gestión de inventarios - Gestión del conocimiento - Gestión de mantenimiento* (pp. 23-79). Universidad Icesi.



---

## RESUMEN

---

Una empresa contratista del sector de la construcción ha tenido cuatro alertas de déficit en el flujo de efectivo durante el último año, riesgos reales de incumplimiento a sus proveedores y clientes por falta de recursos para operar. Mediante un diagnóstico en este proyecto se identificó como causa raíz del problema al manejo de los inventarios, en virtud de ello se desarrolló un nuevo modelo para su gestión y se definió una nueva política que fue aplicada a un producto (SKU) representativo. Para valorar las bondades del modelo se realizaron dos ejercicios: el primero, una simulación financiera de dos proyectos ya realizados, uno de construcción de casas, otro de construcción de apartamentos, en dos escenarios que corresponden a la situación real de consumo de materiales y al consumo bajo la nueva propuesta; luego, utilizando una herramienta de simulación de sistemas dinámicos (Vensim) se calcularon indicadores clave relacionados con el costo, la rentabilidad y la liquidez para el SKU seleccionado en los modelos actual y propuesto. Ambos ejercicios mostraron mejoras financieras significativas que permiten afirmar que el modelo propuesto representa una oportunidad para que la empresa reduzca el riesgo de iliquidez y mejore su rentabilidad y la de su inventario.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento en la Pequeña Y Mediana Empresa [PYME] se caracteriza por la necesidad de ajustar a contrarreloj sus procesos para mantenerse competitiva, con el agravante de que empieza a realizar los procesos de una manera ineficiente y después tiene que corregir lo que hace mal y realizar cambios de fondo para alcanzar mejoras significativas.

Hace solo tres años la empresa objeto de estudio era pequeña y contaba con pocos proyectos y poco personal, en ese momento, los procesos eran determinados únicamente por las decisiones de la gerencia; con su tamaño actual ya no se puede dar ese lujo pues su operación requiere de decisiones más estructuradas, ágiles, que tengan en cuenta el punto de vista sistémico de los procesos, el cual ahora es mucho más complejo.

Entre los muchos problemas que la coyuntura de crecimiento puede generar se identificó uno clave, que ha generado mucha preocupación en el panorama reciente de la empresa, el flujo de caja. En el último año se han presentado episodios de iliquidez, principalmente cuando ha disminuido la contratación, como efecto de situaciones especiales y sus correspondientes decisiones. Un análisis causal permitió identificar que esas situaciones especiales, de acuerdo con su importancia, corresponden principalmente a la gestión del inventario. En ese orden de ideas, este proyecto tiene como fin proponer un modelo de gestión del inventario acorde con el tamaño y complejidad de la empresa, que sea compatible con su modelo de operación actual y mejore la disponibilidad de efectivo. Esta nueva situación se debe ver reflejada en mejores indicadores de Valor Presente Neto [VPN] y rentabilidad operativa del inventario para los proyectos por ejecutar, e impactar la rentabilidad y el flujo de caja de la empresa.

Para validar este modelo: se realizó una simulación financiera de dos proyectos significativos totalmente terminados; se establecieron el modelo actual y el modelo propuesto; y se compararon sus indicadores de VPN para medir la magnitud económica de la mejora propuesta. El modelo se estudió en detalle y se presentó un modelo de la propuesta elaborado en el software VENSIM PLE, versión estudiantil, que simula el funcionamiento y aplicación del modelo para un SKU [*Stock-Keeping Unit*] seleccionado.

## CONTEXTO

La empresa opera en el sector de la construcción, fue fundada en 2006 y realiza instalaciones eléctricas para urbanizaciones. Aunque ya cumple con los requisitos de una empresa mediana –más de 50 empleados y más de 5.000 Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes [SMMLV] en activos– establecidos en la ley 905 de 2004, se sigue comportando como empresa pequeña. En los últimos cuatro años, de la mano de su único cliente, creció de manera acelerada. Entre 2014 y 2016 triplicó su facturación y en 2017 presentó una caída considerable debido a un déficit de contratación en el segundo semestre de 2016, Durante ese mismo año, reactivó la contratación de manera significativa debido a un ajuste de tarifas y a la aceptación de nuevos clientes. Para 2018 (año en que se realiza este proyecto de investigación) se estima que superará al menos en un 50% la facturación de 2016.

Desde el momento en que la contratación se redujo, la gerencia empezó a buscar las razones de su estancamiento y a sospechar que había sido ineficiente respecto al manejo de sus costos e inversiones. Inicialmente, tenía: capacidad instalada ociosa –vehículos, instalaciones, equipos y personal de obra–; un inventario acumulado sin rotación y sin conocimiento de su valor realizable; un software de obras que estaba siendo subutilizado; información financiera irreal e incompleta. Además había acumulado diseños terminados, retregarantías, actividades no contratadas o adicionales de obra que no se habían gestionado para cobro estos dos últimos por un valor superior al 10 % de la facturación de 2016.

Con base en esa percepción la gerencia contrató personal administrativo y de ingeniería, aunque su propósito era que ayudara con la gestión de los asuntos pendientes, la falta de autonomía para la toma de decisiones de estos nuevos cargos representó un obstáculo para la implementación oportuna de varias mejoras propuestas por ellos. “Tengo más personal y los mismos problemas ... no conozco mis costos ... no sé si la obra me deja ganancia ... ¿Dónde están mis utilidades? ... estamos mal en liquidez, ya me gasté el anticipo de una obra en otra”, son una muestra de frases recurrentes de la gerencia en las reuniones,

Actualmente la situación ha cambiado en términos de contratación, 2018 inició con más de doce mil millones de pesos en contratos para ejecutar entre 2018 y 2019 y se pretende obtener al menos nueve mil seiscientos millones de pesos más por nuevos contratos durante el año, lo que implica un crecimiento importante respecto de la facturación de 2017.

El aumento de la actividad se refleja en una mejora de la capacidad instalada; también se ha logrado gestionar los cobros por las actividades pendientes –hay un cargo que maneja esta gestión– y los cargos de dirección cuentan con mayor autonomía; el software de obras se está utilizando mejor y la información financiera poco a poco se ha ido ajustando a la realidad.

Sin embargo, todavía hay evidencia de ineficiencias en los procesos o malas prácticas: se han realizado inversiones que no aportan nuevas fuentes de ingreso y solo alivian algunos gastos; la información financiera todavía no es oportuna ni totalmente compatible con la operativa; en el proceso de compras se presentan problemas relacionados con cotizaciones erróneas que afectan los presupuestos y propician que se ganen licitaciones porque se presupuestó erróneamente por debajo del precio adecuado; hay compras inoportunas que afectan la operación en obra porque el material no está disponible cuando se requiere y otras erradas que afectan los inventarios por especificaciones erróneas o adquisición de material ya disponible en bodega; el valor del inventario sigue creciendo sin una valoración real ni un control adecuado; y los coordinadores de obra reportan sobrecarga laboral y no cumplen con el desempeño esperado con relación a los cobros de avances y el control de consumo de materiales en obra.

A lo anterior se suma que en dos ocasiones durante 2017 se presentaron sobregiros en la cuenta corriente de la empresa y recientemente, ya en 2018, se ha corrido el riesgo de sobregiro en otras dos ocasiones por lo que ha sido imprescindible utilizar los anticipos de nuevas obras para cubrir los gastos y costos de operación. En marzo se incurrió en un préstamo por doscientos millones de pesos para capital de trabajo y se han programado pagos a proveedores con vencimiento hasta por quince días, cuando la política de la empresa es pagar anticipadamente para aprovechar todos los descuentos financieros.

La iliquidez pasa desapercibida en escenarios de continuo crecimiento y más cuando se puede hacer uso de anticipos de hasta el 45% por cada contrato, la evidencia presente en los últimos meses indica que hay un detrimento de la caja, el cual, si no es controlado y corregido oportunamente comprometerá la sostenibilidad financiera y operativa de la empresa en el mediano o largo plazo, y tendrá como efecto más perjudicial al incumplimiento por falta de recursos para la ejecución de los contratos por obras eléctricas.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y LOS OBJETIVOS

Se realizó un análisis causal del problema utilizando la metodología de diagrama de causa-efecto o espina de pescado (Ishikawa., 1988). El problema se definió como el riesgo de incumplirle a los clientes y proveedores por insuficiente liquidez y con ello afectar la sostenibilidad financiera de la empresa. Se definieron como categorías de análisis:

- mano de obra, personas que ejecutan procesos que afectan directamente o influyen en las decisiones del manejo de efectivo;
- procesos y métodos, los empleados para la ejecución de actividades de tipo administrativo o de la operación que impliquen la entrada o salida de efectivo;
- materiales, esto es la determinación del consumo de efectivo a partir del manejo de los materiales;
- entorno o medio ambiente, aspectos regulatorios e indicadores de mercado utilizados para la toma de decisiones que influyen en la utilización del efectivo;
- infraestructura, maquinaria y equipo, elementos estructurales y de soporte operativo en los que la empresa invierte que pueden o no utilizarse para el funcionamiento o ejecución de los procesos; y
- administración, su papel y la toma de decisiones de la gerencia sobre el uso del efectivo.

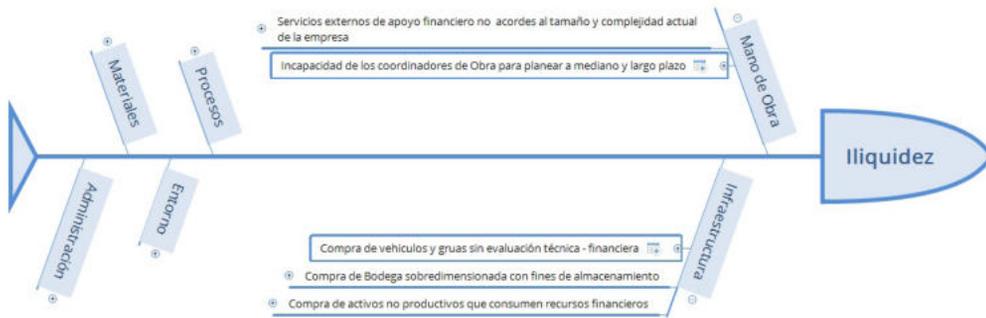
En el ejercicio con el diagrama espina de pescado y su posterior validación con el grupo primario se identificó una gran cantidad de causales del problema establecido, pero no fue posible identificar la causa principal, la más relevante o causa raíz. Para jerarquizarlas se utilizó la matriz de ponderación de criterios (Camisón et al. (2006), específicamente el método del consenso de criterio, donde se definen cuatro factores o dimensiones de valoración a:

- magnitud (M), el nivel de afectación proporcional a la liquidez;
- gravedad, (G), si afecta directa o indirectamente a la liquidez;
- prevención (P), el nivel de facilidad para controlar o prevenir la causa; y
- frecuencia (F), si se presenta ocasionalmente o es permanente.

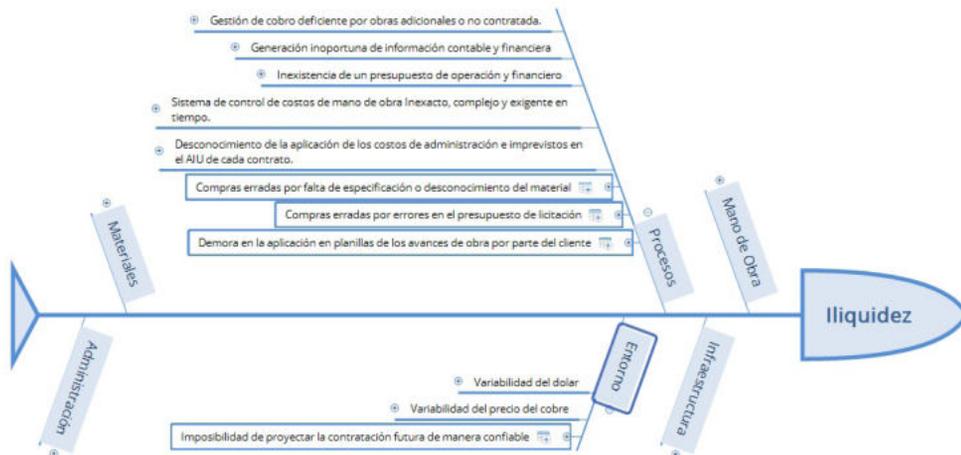
Estas dimensiones se evaluaron con valores de 1 a 3 (baja, media y alta, respectivamente) y a cada dimensión se le asignó el mismo peso. La importancia (I) se determinó aplicando la ECUACIÓN (1):

$$M \times G \times P \times F = I \quad (1)$$

Se identificaron cuatro procesos para agrupar las causales identificadas: gestión logística, gestión financiera, planeación y gestión operativa. Finalmente se promediaron las importancias para cada proceso y se escogió el proceso de mayor puntaje y dentro de él la causal o causales de mayor importancia. Las FIGURAS 1, 2 y 3 corresponden al diagrama causal con el primer nivel de las causas; en la TABLA 1 se presentan las causales raíz (segundo y tercer nivel) identificadas por proceso y su valoración.



**Figura 1. Diagrama causal: primer nivel, mano de obra e infraestructura**



**Figura 2. Diagrama causal: primer nivel, procesos y entorno**

## Modelo de gestión del inventario para una PYME contratista del sector de la construcción



**Figura 3. Diagrama causal: primer nivel, materiales y administración**

**Tabla 1. Causales y su valoración**

Proceso	Causal	M	G	P	F	I
Gestión logística	Necesidades actuales adicionales de espacio de almacenamiento.	3	3	2	3	54.0
	Estructura de codificación de materiales no estandarizada e incompleta.	2	1	2	3	12.0
	No se tiene el cálculo del costo de mantener o almacenar inventario.	3	3	1	3	27.0
	No se tiene conocimiento de la rotación real del inventario, se percibe que es muy baja.	3	3	2	3	54.0
	Alta relevancia en el costo de obra por materiales importados afectados por la variación de la cotización del dólar.	3	3	1	3	27.0
	Alta relevancia en el costo de obra por materiales elaborados con cobre, material transado en bolsa.	3	3	1	3	27.0
	Implementación de sistema de información de inventarios incompleta a la fecha.	3	3	2	3	54.0
	Materiales devueltos de obras u obsequiados por el cliente que no se pueden aprovechar en otras obras.	3	3	2	2	36.0
	Política gerencial “el material devuelto o sobrante de una obra debe quedar disponible para uso exclusivo de la misma obra en caso de postventa”.	3	3	2	3	54.0
	Sistema de información de presupuestos-compras-inventario que solo se puede modificar por instrucción o con autorización de la gerencia.	3	3	1	2	18.0
Compra de materiales asignados a una sola obra deben quedar almacenados hasta su utilización en ella.	3	3	2	3	54.0	

**Tabla 1. Causales y su valoración (continuación)**

Proceso	Causal	M	G	P	F	I
Gestión logística	Compra de materiales representativos en costo al inicio de la obra para cumplir con el presupuesto licitado.	3	3	2	3	54.0
	Compra de material al inicio de la obra que en el momento de ser utilizado es reemplazado por cambio en especificaciones del diseño.	2	3	2	2	24.0
	Falta de conocimiento o desatención del personal de ingeniería a las especificaciones de algunos materiales de obra desde el momento de su diseño hasta su utilización.	2	3	1	2	12.0
	Falta de estandarización en los materiales presupuestados por tipo de obra o cliente.	2	2	2	2	16.0
	Promedio					34.9
Gestión financiera	Contador y revisor fiscal enfocados en impuestos que no aportan asesoría financiera.	2	1	2	3	12.0
	Procesos contables mal coordinados que generan incumplimiento en la entrega de información financiera.	2	2	2	3	24.0
	La información de costos de mano de obra se maneja en MSExcel a partir de las novedades recogidas diariamente, para cada obra se debe repetir todo el proceso de consolidación.	3	2	2	3	36.0
	No hay un sistema de costos que asigne de manera estándar los costos y gastos administrativos y de ingeniería a cada proyecto.	3	2	2	3	36.0
	La información contable no maneja la información real del inventario.	2	1	2	3	12.0
	Se aprovechan todos los descuentos financieros cuando hay disponibilidad de efectivo.	3	3	2	3	54.0
	Modelo mental de “mejor el dinero invertido en inventario que disponible en la cuenta”.	3	3	2	3	54.0
	Poca disponibilidad de la gerencia y la dirección administrativa para la elaboración de un presupuesto financiero de la operación.	2	1	2	3	12.0
	Poca disponibilidad de la dirección administrativa para evaluar diferentes alternativas de inversión de los anticipos.	2	1	2	3	12.0
	Oportunidades de inversión definidas por la gerencia aprovechadas cuando se presenta disponibilidad de efectivo sin evaluación previa.	3	3	2	2	36.0
	No se realizan planes para la utilización de los anticipos.	2	3	2	3	36.0
	Promedio					29.5
Planeación	Falta de herramientas o metodología de planeación para los coordinadores de obra.	3	1	1	3	9.0
	Falta de experiencia laboral en planeación de los coordinadores de obra.	3	1	2	3	18.0

**Tabla 1. Causales y su valoración (continuación)**

Proceso	Causal	M	G	P	F	I
Planeación	Desconocimiento y falta de implementación del plan de la gerencia para ofrecer servicios de transporte y grúa a los clientes.	2	2	2	3	24.0
	Dificultad para proyectar la contratación de nuevos proyectos en el futuro.	2	1	1	3	6.0
	Asignación de proyectos basada en concursos licitatorios difíciles de predecir.	2	2	1	3	12.0
	Promedio					13.8
Gestión de la operación	Sobrecarga laboral de los coordinadores de obra, poca disponibilidad de tiempo o desatención para labores de seguimiento al reconocimiento de avances de obra por parte del cliente.	3	3	2	3	54.0
	Falta de claridad respecto a las funciones y responsabilidades del cargo de coordinador de obra.	2	1	3	2	12.0
	Personal nuevo con poca experiencia en el proceso de presupuestos para licitaciones.	2	2	2	2	16.0
	Procesos de cobro de adicionales y obras no contratadas en implementación desde un área nueva creada para realizar otras actividades prioritarias de presupuesto de obra.	3	3	2	2	36.0
	Promedio					29.5

La clasificación y valoración presentada en la TABLA 1 indica que el problema se debe atacar principalmente desde la gestión logística, específicamente en el tema de inventarios, debido a que las causales con mayor calificación de importancia se relacionan directamente con esta temática: espacio de almacenamiento insuficiente, desconocimiento de los costos de mantener el inventario, implementación incompleta del sistema de inventarios, restricción al consumo del material devuelto de las obras, compra y almacenamiento exclusivo y restringido de material para una obra específica y compra de todo el material representativo en costo para la obra al recibir el anticipo, previo al inicio de la obra. Sin embargo, no hay que dejar de lado algunas causales de otros procesos que por su alta calificación se deben trabajar tangencialmente, pues podrían aportar en la mejora de la liquidez de la empresa, tales como: mejorar la oportunidad de los coordinadores de obra en el proceso de facturación de los avances de obra, definir nuevas políticas para el aprovechamiento de los descuentos financieros y el cambio de paradigma de la gerencia sobre preferir tener el efectivo invertido principalmente en inventario.

Con base en el análisis anterior, este proyecto se realizó con el objetivo de presentar un nuevo modelo de gestión del inventario que mejore el flujo de efectivo y la rentabilidad del inventario y que funcione integrado al modelo de gestión operativa de la empresa. Para ello se propuso una serie de objetivos específicos: establecer los aspectos principales del modelo actual que son susceptibles de mejora e investigar las mejores prácticas que se pueden implementar; caracterizar y definir la política de un nuevo modelo de gestión del inventario para la empresa; validar, por medio de una simulación financiera, en términos de flujo de caja neto con el VPN, la mejora estimada por la implementación de un sistema de gestión del inventario acorde con la operación de la empresa; y presentar una simulación con técnicas del área de conocimiento del pensamiento sistémico para el modelo de gestión de inventarios propuesto con la respectiva validación de indicadores financieros para el costo, la liquidez y la rentabilidad del inventario.

## MARCO TEÓRICO

La gestión y el control de inventarios es un área de la logística que estudia el manejo que se le debe dar al material, sea materia prima, producto en proceso o producto terminado en cualquier tipo de empresa. Independiente de si sus fines son comerciales, de manufactura o de servicios, todas las empresas trabajan con algún tipo de inventario y su adecuado manejo puede determinar su éxito o fracaso, dependiendo de la identificación, consideración y administración de los costos que se causen durante la ejecución de los procesos logísticos.

Un inventario mal administrado puede generar sobrecostos por demoras e incumplimientos, por reposiciones o garantías y por transporte o almacenamiento y puede afectar la disponibilidad de efectivo por efectos del sobreinventario o por mala programación de los tiempos de entrega de los proveedores, entre otras razones. Dependiendo del peso del inventario en la generación de ingresos de la empresa, el impacto de una mala administración de ellos va a ser de mayor o menor escala.

Para el desarrollo del presente proyecto se pretende trabajar sobre un modelo de gestión del inventario que inicialmente debe manejar los principales conceptos de la teoría de inventarios: planeación del requerimiento de materiales [MRP, *Material Requirement Planning*]; clasificación ABC; tiempos de reposición del proveedor (*lead time*); Tamaño óptimo de pedido [EOQ, *Economic*

*Order Quantity*; Costo Total Relevante [CTR]; rotación del inventario; SKU; inventarios de seguridad, promedio y cíclico; costos asociados al inventario obsoleto y agotado; y demanda determinística y dependiente (Vidal, 2008). Por otra parte, como indica Buenaventura (2017), el análisis financiero de proyectos de inversión se puede equiparar a un proyecto productivo o de construcción pues presenta los mismos elementos y pueden ser evaluados económicamente.

Una empresa exitosa debe ser a la vez líquida y rentable (García, 2009), se deben perseguir ambos objetivos aunque en ocasiones sean contrarios, a veces para lograr rentabilidad se debe sacrificar la liquidez y a veces para ser líquidos hay que sacrificar la rentabilidad. Al parecer la gerencia de la empresa apuesta por la primera opción y con el afán de ser rentable sacrifica la liquidez comprando una gran porción del inventario al inicio de cada proyecto o con demasiada anticipación, cuando en realidad se debe encontrar un equilibrio entre estos dos fundamentos financieros. Para tal fin se deben conocer los conceptos de: VPN; costo y tasa de oportunidad ( $i^*$ ); capital de trabajo y flujo de fondos; margen operativo; flujo de caja neto operativo; rentabilidad de los activos; rentabilidad del inventario; y ciclo de caja.

Asimismo, para realizar el análisis de la información y la construcción del modelo es necesario conocer conceptos del área de pensamiento sistémico: diagrama causal, diagrama de Forrester, modelo mental y arquetipos (Senge, 1991). Para este estudio se tiene en cuenta el arquetipo denominado Límites del crecimiento, el cual, a juicio de Senge et al. (2006), ayuda a ver cómo varía con el tiempo el equilibrio entre un ciclo reforzador virtuoso y un ciclo compensador, mostrando cómo a veces, cuanto más empeño se pone en superar las restricciones, más se agravan sus efectos, lo cual puede explicar el fenómeno negativo que se presenta en la liquidez de la empresa a pesar de que se encuentra en un estado de crecimiento constante. Desde el concepto del pensamiento Lean se requiere el mapeo de la cadena de valor [VSM, *Value Stream Mapping*] (Keyte & Locher, 2007) y el mapeo de procesos o diagramas de flujo junto con los análisis de Pareto (Juran & Godfrey, 1998), todas ellas herramientas de uso común en la ingeniería industrial.

El manejo del inventario está íntimamente asociado con el flujo de efectivo a nivel de cada proyecto, esta relación representa la brújula de éxito para la empresa y le puede permitir a la dirección tomar decisiones acertadas a futuro y arreglar ineficiencias detectadas cada vez que se inicia un nuevo proyecto o durante su ejecución. Un modelo de inventarios adecuado al modelo de gestión

de la empresa debe facilitar el equilibrio entre el flujo de caja y la rentabilidad, para de esta manera aportar al incremento del valor de la empresa, que es el objetivo básico financiero de todo empresario (García, 2009).

## ANTECEDENTES

Para el cumplimiento del objetivo del proyecto es importante conocer investigaciones o aplicaciones que se hayan realizado en el sector de la construcción tanto en Colombia como en otras partes del planeta, respecto del mejoramiento de modelos de gestión y control de inventarios o alguno de sus componentes.

Fonseca (2011) introduce conceptos de gestión logística al contexto de la construcción en Colombia, un sector que, según este estudio, se encuentra relegado frente a los demás en el país; Medina y Corona (2013) proponen usar tecnología BIM [*Buiding Information Modelling*] y Solís et al. (2009) especifican todos los procesos implicados en la gestión de materiales para lograr un mayor control y mejorar la eficiencia. Todos ellos resaltan que sin una adecuada planeación inicial de los materiales que se van a requerir en el desarrollo del proyecto los resultados de la gestión del inventario son altamente deficientes.

Durante la revisión bibliográfica realizada, la mayoría de los artículos consultados se enfoca en el proceso de compras (Zuluaga, 2010), la selección de proveedores, la distribución del material y algunos en sistemas de almacenamiento, sin embargo, fueron pocos los que se relacionaron directamente con los modelos de inventario específicamente y, dentro de estos, aún menos los que trabajaron con un enfoque financiero en su conjunto, solo se encontraron estudios desde el punto de vista del costo, como en el caso de Fang y Ng (2011), quienes utilizan el costeo ABC para analizar la logística en el sector de la construcción.

Se encontraron investigaciones realizadas en China, Cuba y Rusia, países que por su sistema de gobierno comunista tiene muchas restricciones en términos de contratación lo que le resta flexibilidad a la implementación de mejoras o cambios en los procesos ya establecidos en los proyectos. En China, Lu et al. (2018) hacen énfasis en evitar el agotamiento de los inventario utilizando colchones de seguridad para materiales o tiempo, colchones que han sido calculados por medio de modelos matemáticos que tienen en cuenta la variabilidad de la demanda y la tasa de cumplimiento de los proveedores, y evitan retrasos en

la programación de obra. También existen modelos matemáticos (Lu et al., 2016) y simulaciones (Goken et al., 2017) que determinan políticas de control de inventarios con algunas consideraciones y restricciones respecto del tamaño del inventario de seguridad adecuado para aumentar el nivel de servicio y reducir el nivel del inventario general, y lograr así una mayor disponibilidad de efectivo, y el análisis de los costos del inventario para alcanzar mayores niveles de rentabilidad.

Por otra parte, se evidencia el manejo del concepto de Lean Thinking para proponer alternativas de optimización de la cadena de suministro por medio de la eliminación de desperdicios de los procesos, sin embargo, para el caso específico del sector de la construcción se requiere mayor involucramiento de todos los procesos internos y los interesados externos, es decir un enfoque más holístico para que se produzcan resultados favorables, puesto que administrar proyectos que presentan un alto grado de incertidumbre no es equiparable a administrar procesos que pueden ser estandarizados (Fearne & Fowler, 2006).

Baladhandayutham y Venkatesh (2012) exploran la posibilidad de aplicar JIT [*Just In Time*] para la gestión del inventario en construcción. La metodología se puede aplicar, indican, pero con varios ajustes, debido a que en construcción la falta de un material, así sea el más insignificante, puede parar una obra, causar pérdidas económicas e incrementar el riesgo de incumplimiento de contratos, lo que es más grave aún por sus repercusiones inclusive de tipo legal.

Arcos y Mora (2006), con el fin de validar que el manejo adecuado del capital genera una mejora en el flujo de caja, revisan su comportamiento usando modelamiento matemático y análisis de datos y ratifican la relación directa entre estos dos indicadores financieros. Por su parte Vélez (2012), en un estudio para la Superintendencia de Sociedades, usando información consolidada brindada por 121 empresas que se encontraban en acuerdo de reorganización para determinar las principales causas de la insolvencia económica, separó causas externas y causas internas, de estas últimas encontró que las cinco más relevantes son: el alto endeudamiento, la falta de capital de trabajo, la disminución de ventas, los altos costos o gastos operacionales y de ventas y la baja rentabilidad del negocio, todas relacionadas directa o indirectamente con el manejo del inventario y las dos primeras relacionadas directamente con el manejo del efectivo; el crecimiento de inventarios, como tal, aparece como la causal número 13.

Senge et al. (2006) identifican un método de simulación desde la quinta disciplina partiendo del pensamiento sistémico que utiliza como herramienta los modelos de sistemas dinámicos con diagramas de Forrester; Canaleta (n.d) presenta una aplicación del modelo de Wilson [EOQ] y a partir de ella profundiza sobre el tema. Algunos autores realizan adaptaciones o extensiones del modelo para relacionarlo, por ejemplo con la utilidad y la demanda según el crecimiento de la población (Martínez & Villada, 2013), modelos macro que describen cadenas de suministro completas donde se involucra al proveedor y al cliente y donde se comparan diferentes políticas (Avellaneda et al., 2011) y adaptaciones que tienen en cuenta políticas de inventario aplicadas en software como iThink y Vensim (Agudelo & López, 2018). Para el proceso de modelamiento en Vensim PLE se identificaron dos manuales disponibles *online*, uno en el repositorio de la Universidad del Cauca (“Ejercicios prácticos...”, n.d), otro en el de la Escuela Superior de Ingeniería Informática (Dormido & Canto, 2005).

Para realizar la comparación con otras empresas del sector se identificaron tres estudios de caracterización de la gestión de proyectos y la gestión logística y dentro de ellos, específicamente de la gestión del inventario: González et al. (2010), en México, realizan un diagnóstico e identifican sus fortalezas y debilidades; Arijeloye y Akinradewo (2016), en Nigeria, identifican las principales fallas en el control de los materiales y proponen mejores prácticas para evitar múltiples problemas asociados a la gestión del inventario; y Fonseca (2011), en Colombia, propone mejoras en la gestión logística de las empresas de construcción del país y realiza un diagnóstico exhaustivo del sector.

La documentación encontrada marcó pautas importantes para el desarrollo de este proyecto puesto que mostró enfoques, aportó modelos matemáticos, clarificó conceptos y confirmó que con la simulación es posible validar la aplicación de nuevos modelos.

## **RESULTADOS**

### **MODELO ACTUAL DE GESTIÓN DEL INVENTARIO**

Utilizando la definición del proceso de gestión de materiales en el sector construcción de Solís et al. (2009), se identifican las fases de: planeación, negociación, pedido, recepción, almacenamiento, uso (consumo), resurtido (reposición o reabastecimiento), pago y control.

## **PLANEACIÓN**

La empresa realiza el presupuesto de materiales para las obras desde el momento de la licitación, con base en los diseños que presenta el cliente; cuando la licitación le es asignada, la empresa optimiza el diseño y lo carga al Sistema de Gestión de Recursos de Obra [SGRO] antes de iniciar la operación; en él se definen las cantidades totales de materiales y mano de obra a utilizar, por Análisis de Precios Unitarios [APU], con el fin de controlar el aprovisionamiento y el costo final de la obra; los desperdicios y mermas de material se consideran empíricamente sobre el precio del material. La empresa no detalla los consumos sobre una línea de tiempo ni usa los cronogramas de las obras que maneja el cliente para el aprovisionamiento, sin embargo, de acuerdo con la experiencia del personal de ingeniería en obras se determina la antelación del pedido de algunos materiales representativos, en especial de los de manufactura.

**FACTORES CLAVE:** determinación de la demanda, horizonte de planeación, tasa de la demanda, periodo de primer traslado, frecuencia de despacho a obra y MRP de obra.

## **NEGOCIACIÓN**

El departamento de compras en conjunto con la gerencia cotizan y negocian con proveedores los precios de compra del material, generalmente se negocia una única compra para la obra y en algunos casos, si hay obras simultáneas, se unifican con el fin de conseguir descuentos por volumen. Normalmente se consiguen tres cotizaciones y se escoge la más económica; con algunos proveedores de crédito también se negocian descuentos financieros por pronto pago que no afectan el costo de compra del material. Es importante agregar que el Impuesto al Valor Agregado [IVA] de los materiales en el sector construcción no es descontable, por ello tanto, suma como mayor valor del costo.

**FACTORES CLAVE:** escala de precio por volumen ( $v$ ), frecuencia de entregas y tiempo de entrega ( $L$ ) del proveedor.

## **PEDIDO**

El pedido se determina por la negociación con el proveedor y la planeación empírica del ingeniero de obras, el cual coloca la requisición [RQ] en el SGRO

calculando mentalmente con anterioridad su consumo, el área de compras procede entonces a realizar la Orden de Compra [OC]. Para los materiales que por aspectos relacionados con el precio, la posibilidad de variación del precio por efectos inflacionarios o de la devaluación o negociaciones especiales por volumen, se realiza normalmente una sola RQ, para ella el ingeniero de obra debe calcular mentalmente, con antelación, el inicio de su consumo en la obra, teniendo en cuenta los tiempos de entrega del proveedor.

**FACTORES CLAVE:** requisiciones para abastecimiento en obra, oportunidad del pedido, cantidades de material a pedir (Q) y costo de realizar un pedido (A).

#### **RECEPCIÓN**

La empresa cuenta con una bodega central donde se recibe la mayoría del material comprado. El proceso de recepción se realiza comparando el material recibido físicamente con la remisión o factura entregada por el proveedor, si hay alguna inconsistencia, se coordina con el área de compras la devolución del material. El requisito principal que debe cumplir el proveedor es entregar con copia de la OC, en caso de no contar con ella, el almacén debe verificar con compras la OC correspondiente para proceder a aceptar el material. Cuando todo está verificado se procede a registrar en el SGRO la entrada al inventario, el cual ingresa con el costo estipulado en la OC.

**FACTORES CLAVE:** cantidad ingresada (entrada) y parte del costo de manejar el inventario (r).

#### **ALMACENAMIENTO**

La empresa cuenta con espacio suficiente para el almacenamiento de volúmenes importantes de materiales, sin embargo, con el crecimiento de la operación y la carencia de un orden preestablecido, los sistemas de almacenamiento se han vuelto insuficientes e inadecuados, no existe estructura de ubicaciones o estudio de flujos dentro de la bodega para el alistamiento. En la bodega también se almacena material obsoleto o defectuoso que se ha ido acumulando con el tiempo, lo que resta disponibilidad de espacio y posibilidad de orden. Actualmente operan dos personas –un supervisor y un auxiliar–, que realizan en conjunto todas las labores de la bodega. Principalmente se manejan estos tipos de almacenamiento: arrume de cajas; arrume de carretes de cable restringido para el material de alto costo, como los materiales intensivos en

cobre, en estantería semipesada; y arrume sin restricción en estantería pesada y estantería semipesada.

**FACTOR CLAVE:** costos de manejar el inventario (r)

### **Uso**

En la empresa a este proceso se le denomina “consumo”. Los coordinadores de obra ejecutan la salida de inventario en el SGRO y la entregan en el almacén, con este documento –que presenta las cantidades por SKU a despachar a las obras–, el almacén realiza el alistamiento. Estas salidas se realizan cada dos semanas para cada obra. Debido a que la empresa maneja la mayor parte del inventario por la bodega principal, se requiere incluir la actividad de transporte, para ella cuenta con dos vehículos y un conductor. El documento de salida debe tener dos copias adicionales, para el transportador y para el residente de obra, quienes deben firmar el documento original como respaldo de entrega conforme. Cuando el proveedor entrega los materiales en sitio, la bodega y el coordinador de obra deben enterarse para que ejecuten de manera inmediata la entrada y la salida; el encargado de obra debe hacer llegar a la sede el documento con el que recibió la mercancía y estos tres documentos deben coincidir. Ya en la obra, el material se consume según el avance de obra, pero queda totalmente fuera de cualquier tipo de control puesto que ya se ha realizado la salida del SGRO.

**FACTORES CLAVE:** parte de los costos de almacenar (r) y consumos de inventario (salidas).

### **RESURTIDO**

Por lo general, la empresa realiza una sola compra por cada SKU, con el fin de alcanzar economías de escala en los precios de compra, ya que no hay restricciones de espacio en la bodega principal y sí interés en reducir, casi a cero, el riesgo de tener materiales agotados en la obra. Las constructoras clientes entregan anticipos considerables, entre el 30 % y el 45 %, los que siempre se aprovechan para comprar, en su orden, los artículos más sensibles a la devaluación del peso o a la inflación y luego los materiales más costosos, para evitar aumentos inesperados del precio.

**Factores clave:** intervalo de revisión (R), valor del anticipo e inventario de seguridad (s).

## **PAGO**

Los proveedores de material de alto costo en su mayoría otorgan plazos de 30 a 45 días para el pago de las facturas, sin embargo, una de las principales políticas de la empresa es que si hay liquidez se deben aprovechar todos los descuentos financieros por pronto pago (entre 2 % y 4 %), por lo que estas facturas generalmente se pagan entre ocho y quince días contados desde la entrega del material en la sede de la empresa. Algunos materiales representativos, como las plantas –importadas– o los tableros cuya fabricación se contrata, generalmente requieren pagos de contado o con anticipos hasta del 50 %.

**FACTORES CLAVE:** política de pagos al proveedor, descuentos financieros, rentabilidad del anticipo o interés, efectivo disponible para compra de materiales, demora en el pago del cliente y facturación esperada.

## **CONTROL**

Existe un departamento de control presupuestal, una de sus funciones es monitorear y comparar de manera permanente la ejecución de cada obra y sus correspondientes costos acumulados contra el presupuesto de obra. La empresa a la fecha no ha logrado llegar al detalle necesario para tomar decisiones confiables y oportunas, sin embargo, si ha logrado un mayor control en el consumo justificado del material en las obras, utilizando como camisa de fuerza el presupuesto registrado en el SGRO. Cuando las cantidades utilizadas no corresponden al presupuesto registrado, el área de control presupuestal exige la justificación de los cambios, la que frecuentemente corresponde a errores o actualizaciones de última hora en los diseños de la obra y, en menor medida al pobre o inexistente control del material cuando ya se encuentra disponible en la obra.

**FACTORES CLAVE:** mermas de inventario, imprevistos y método de control.

Por otra parte, de acuerdo con Silver (2008), para la definición de cualquier modelo de inventarios es importante responder a tres preguntas básicas: ¿Cuál debe ser la frecuencia de revisión del inventario? ¿Cuándo se debe colocar una orden de reabastecimiento? y ¿Cuál debe ser el tamaño de esta orden? En la actualidad, la empresa no ha pensado en la respuesta a estas preguntas ni aplica una metodología para el manejo del inventario; sigue de manera rigurosa la estructura planteada por su SGRO, el cual se ha venido potencializando o aprovechando de mejor manera en los últimos meses gracias a la disposición

de la gerencia y el involucramiento de más personas competentes en su administración; sin embargo, el SGRO es un programa que está desarrollado alrededor del control presupuestal y no tiene en cuenta la planeación ni la optimización del recurso, a nivel de la relación entre los costos asociados al inventario y el comportamiento de la demanda.

## **NUEVO MODELO DE GESTIÓN DEL INVENTARIO**

La empresa tiene los objetivos claros, le interesa minimizar los costos y aumentar la rentabilidad de las obras, normalmente aprovechando inicialmente descuentos comerciales por la compra por volumen de mercancía y después con los descuentos financieros ofrecidos por los proveedores por pago anticipado de las facturas. Además, persigue el máximo nivel de servicio, puesto que un faltante de material puede parar una obra, generar sobrecostos y terminar con el cobro de pólizas por incumplimiento y repercusiones de tipo legal y comercial.

Al caracterizar un modelo de inventario lo primero que se debe identificar es el tipo de demanda que presentan los materiales, si es determinística o probabilística, dependiente o independiente. Como se dijo, el objeto social de la empresa es realizar instalaciones eléctricas para proyectos de construcción urbanísticos, la identificación y la necesidad de cada material de obra se determina desde el momento de la licitación y depende de los diseños de cada proyecto; lo anterior implica que desde el momento de la asignación del proyecto se cuenta con las cantidades y especificaciones de cada material que será utilizado, por lo que la demanda es determinística y dependiente y puede quedar plasmada en detalle en un presupuesto y colocada sobre un cronograma para conocer los tiempos de consumo.

En todo modelo de inventario es vital definir sobre que SKU es importante hacer un control más detallado, la clave, indica Vidal (2008), consiste en liberar el capital invertido en inventarios de seguridad de ítems con baja variabilidad y distribuirlo en inventarios de seguridad de ítems con alta variabilidad. Lo anterior aumenta la relevancia de realizar una clasificación ABC del inventario para establecer prioridades de administración y diferenciar los sistemas de control de ítems en cada categoría (Vidal, 2008). En la empresa no existe esta clasificación a ningún nivel y se tiende a dar la misma importancia a un tornillo que a un tramo de cable; en la realidad, si bien un tornillo puede parar una obra, se puede conseguir en cualquier ferretería y comprarlo usando la caja

menor, mientras que un tramo de cable puede tener un impacto muy grande en el costo si se compra a un distribuidor y podría no ser fácil de conseguir o tener un tiempo de generación de pago al proveedor o despacho poco eficiente para la continuidad de la obra.

Se aplicó entonces una clasificación ABC según el costo presupuestado de los materiales por cada obra, con el fin de aplicar el modelo a los materiales que representen el 90% del costo de materiales de la obra; para los materiales tipo B y C se puede seguir aplicando el modelo actual y dejar para estudios futuros la aplicación de modelos más adecuados. Usando los factores clave identificados en la sección anterior, se determinó la caracterización para el nuevo modelo y se comparó con el modelo actual, tal como se especifica en la TABLA 2.

**Tabla 2. Factores clave del modelo propuesto de gestión de inventario frente al modelo actual**

Fase	Factor clave	Modelo actual	Modelo propuesto
Planeación	Determinación de la demanda	Demanda fija, comúnmente una sola compra para el proyecto	Demanda determinística dependiente según frecuencia de pedidos, parte desde un MRP de obra
	MRP de obra	Se pide según la necesidad anticipada de la obra	Se elabora desde el momento de la asignación de la obra y debe tener en cuenta la frecuencia de despacho a obra.
	Periodo de primer traslado	Se realiza según necesidad anticipada de obra	Se puede planear desde la elaboración del MRP
	Horizonte de planeación	Desde la primera compra hasta que se agota el inventario. No se tiene identificado	Desde la primera compra hasta que se agota el inventario
	Frecuencia de despacho a obra	Se realiza según necesidad anticipada de obra	Se maneja según la programación del transporte de materiales
	Tasa de la demanda	100 %	Demanda esperada acumulada / Horizonte de planeación
Negociación	Escala de precio por volumen o costo de compra por unidad (v)	Resultante de cotización a tres proveedores y negociación del área de compras. Con algunos proveedores se tiende a aprovechar la compra por volumen, preferiblemente simultánea, para varios proyectos.	Mismo método, se plantea seguir aprovechando cualquier descuento negociable y alcanzable, la consolidación con otras obras se vuelve más relevante para lograr volumen.

**Modelo de gestión del inventario para una  
PYME contratista del sector de la construcción**

**Tabla 2. Factores clave del modelo propuesto de gestión de inventario frente al modelo actual**

Fase	Factor clave	Modelo actual	Modelo propuesto
Negociación (cont.)	Tiempo de entrega del proveedor (L)	Varían para cada SKU y proveedor	Varían para cada SKU y proveedor
	Frecuencia de entregas del proveedor	Depende de la negociación con el proveedor	Se puede negociar para aprovechar economías de escala, pero con entregas parciales, preferiblemente en obra.
	Requisiciones para abastecimiento en obra	La realiza el coordinador de obra según proyecto de manera anticipada cuándo requerirá el material en obra. Los materiales de alto costo se piden al principio y la gerencia determina cuándo se procede con su compra.	Se coloca una sola requisición al inicio de la obra por el total de materiales presupuestados entregada a compras junto con el cronograma de utilización
	Oportunidad del pedido	La definen la gerencia y el coordinador de obra.	El cronograma de utilización define los tiempos en que se requiere el material en la obra.
	Cantidad a pedir (Q)	La definen la gerencia y el coordinador de obra.	Se calcula la EOQ con base en las variables: costo de pedir, costo de manejar el inventario y tasa de demanda del SKU calculadas para el modelo de inventarios
	Costo de pedir (A)	No está calculado	Se calcula a partir del costo del área de compras y el promedio de órdenes que se emiten en un periodo equivalente.
Recepción	Cantidad que ingresa (entrada)	De acuerdo con la orden de compra y el cumplimiento de la entrega por parte del proveedor se realiza el ingreso a la bodega de la obra en ejecución.	Se propone ingresar el material a la bodega principal, donde queda disponible para todas las obras en ejecución.
Recepción + almacenamiento + uso	Costo de manejar el inventario	No se encuentra calculado	Se calcula a partir de la suma de los costos de: personal, bodega, conductor, vehículos, infraestructura de operación y área ocupada por la bodega consolidados semanalmente dividido por el Inventario promedio semanal en pesos.

**Tabla 2. Factores clave del modelo propuesto de gestión de inventario frente al modelo actual (cont.)**

Fase	Factor clave	Modelo actual	Modelo propuesto
Uso	Consumos de inventario (salidas)	Se realizan cuando el coordinador de obra necesita el material, según el consumo estimado para las próximas dos semanas de obra. Se realiza en la sede y determina el material despachado a la obra.	Al tener el material en la bodega principal, en lugar de hacer una salida, el coordinador de obra tendrá que ejecutar un traslado a la obra donde se consumirá el material. La salida se realizará por inventario en lote realizado en sitio por el encargado de obra previo al nuevo despacho de material programado.
Resurtido	Intervalo de revisión (R)	No está especificado, se ordena la compra según determinación de la gerencia o solicitud a esta por parte del coordinador de obra	Se estipula según la Política de revisión periódica que se defina para el inventario
	Inventario de seguridad (s)	Máximo, se compra con mucha anterioridad la totalidad del material requerido	Se calcula con la demanda esperada promedio o tasa de demanda por número de periodos de esa demanda que se quiere mantener en el inventario para evitar agotados. También determina si al llegar el periodo de revisión se realiza pedido o no.
	Valor del anticipo	Lo estipula el cliente, se reserva principalmente para lograr negociaciones favorables en la compra de materiales.	Lo estipula el cliente, con el modelo se puede calcular con anterioridad su utilización y la adición necesaria para completar la obra específicamente sobre los materiales
Pago	Política de pago al proveedor	Cambia según el proveedor, con los proveedores con crédito se aprovechan los descuentos por pronto pago.	Se especifica un tiempo de pago de dos semanas en promedio.
	Descuentos financieros	Si hay liquidez se aprovechan, actualmente no hacen parte del costo promedio de los materiales, se llevan contablemente	Todos los descuentos financieros se aprovechan pero no se consideran en el modelo puesto que no están afectando el costo promedio de los materiales.
	Efectivo disponible para compra de materiales	Saldo en cuenta corriente mas ocasionales préstamos para capital de trabajo.	Se suma el anticipo, los intereses generados por este en la fiducia y una adición, si se requiere, de efectivo proveniente de la facturación operativa.

## Modelo de gestión del inventario para una PYME contratista del sector de la construcción

**Tabla 2. Factores clave del modelo propuesto de gestión de inventario  
frente al modelo actual (cont.)**

Fase	Factor clave	Modelo actual	Modelo propuesto
Control	Demora en el pago del cliente	Aunque es cuatro semanas, para el modelo se utilizaron los pagos reales asignados por proporción a los SKU seleccionados.	Se deben considerar en el modelo funcional para utilizarlo en proyecciones (para el modelo estudiado se usan los pagos reales).
	Facturación esperada	Proveniente de las actas de avance de las obras, al pago generado por esta factura se le descuenta la proporción del anticipo.	Se sigue manejando igual
	Rentabilidad del anticipo o interés	El anticipo queda en la cuenta corriente de la empresa mientras se consume.	Se recomienda invertir el anticipo en una fiducias a la vista, en un portafolio moderado, donde se manejan tasas de interés similares al DTF (la tasa con la que se evaluó el modelo).
	Mermas de inventario	Se pueden presentar en obra por ineficiencias en la instalación, averías causadas por otros contratistas o defectos no reconocidos o no tramitados con el proveedor. Aunque no está medido, en la licitación se incluyen porcentajes adicionales en los precios que pretenden cubrir estos costos ocultos.	Se debe estipular un porcentaje de mermas, puesto que el MRP es preciso según la necesidad de la obra, por lo que este debe quedar afectado en exceso por este porcentaje y así evitar compras adicionales o incumplimientos al cliente antes de finalizar la obra. Por fines prácticos no se incluyó en el modelo.
	Imprevistos	Cuando se presentan pérdidas de material o cambios o daños en la obra que no son reconocidos por el cliente, hay un porcentaje en el AIU (entre 4 y 6 %) reservado para ellos.	Debido a que este porcentaje se maneja por fuera del costo directo del proyecto, no se tiene en cuenta en el modelo propuesto.
	Método de control	No se compra material que no esté incluido en el presupuesto, para incluirlo debe estar justificado por el coordinador de obra.	Además del actual, se proponen adicionales (e.g costo del material vs presupuesto, conteos cíclicos y por lote para control permanente a las diferencias del inventario, incluyendo el material disponible en la obra y la auditoría permanente al proceso de abastecimiento.

La nueva política de inventario se determinó respondiendo las tres preguntas básicas de un modelo de gestión del inventario Silver (2008): ¿cuál debe ser la frecuencia de revisión del inventario?, ¿cuándo se debe colocar una orden de reabastecimiento?, y ¿cuál debe ser el tamaño de esta orden?

Vidal (2008) identifica dos formas de realizar la revisión de inventarios: de manera periódica y de manera continua. La revisión continua requiere de un sistema de monitoreo y alarmas que informen cuándo un material llega a un punto de reorden preestablecido, algo fuera del alcance de la empresa; el sistema de revisión periódica, en cambio, es ideal teniendo en cuenta que la empresa tiene como política consolidar las compras en busca de descuentos y realizar menos compras; además, se pueden programar con el mismo ritmo que se despacha material a las obras, cada 2 semanas. La empresa requiere entonces implementar el sistema de revisión periódica tipo  $(R, s, S)$ , donde el valor máximo  $S$  corresponde a  $s$  más  $Q$ , debido a que la demanda es variable en el tiempo, aunque predefinida; el valor del pedido óptimo  $Q$  y el del punto de reorden  $s$  pueden cambiar para cada pedido o punto de revisión, cada  $R$  unidades de tiempo, lo que implica un cuidado especial para el personal que efectúe la revisión.

El intervalo para colocar una orden de reabastecimiento depende directamente del sistema de revisión establecido: cada vez que el inventario se encuentre por debajo de  $s$ , se coloca una orden; si esto sucede entre dos revisiones consecutivas, la respuesta es  $R$  unidades de tiempo, pero si no se supera este punto de reorden  $s$ , el tiempo se alargará hasta la próxima revisión; por lo tanto, cada pedido se debe realizar cuando se alcance el punto de reorden para así garantizar un nivel de servicio máximo. El punto de reorden  $s$  se definirá multiplicando la tasa de demanda por el número de periodos que se especifique cubrir determinado utilizando la simulación o métodos heurísticos.

Para calcular el tamaño de la orden se utiliza el modelo dinámico de lote económico con demanda determinística (Taha, 2005) usando el MRP de obra. Debido a que los requerimientos de un proyecto quedan definidos desde el mismo momento de la asignación de una licitación, se debe implementar un modelo de planificación de obras que se anticipe para definir el plan de necesidad de materiales durante el ciclo de vida del proyecto. Consolidando varios proyectos se puede elaborar un plan de compras y hacer negociaciones importantes a horizontes de tiempo mayores a un año.

## VALIDACIÓN Y SIMULACIÓN FINANCIERA DEL EFECTO DEL MODELO

Para la evaluación se seleccionaron dos obras que se manejaron de principio a fin en el sistema de información, una de construcción de casas (Proyecto 1) y una de construcción de apartamentos (Proyecto 2). Su selección obedece a que son las únicas obras a la fecha que desde la implementación del SGRO se han gestionado de principio a fin. Además, el ser de naturaleza distinta puede dar un panorama de aplicación más amplio.

El objetivo de la evaluación es determinar el ahorro sobre el VPN en el flujo de caja de los materiales de cada proyecto. Para realizar la evaluación se realizó el siguiente procedimiento en ambos proyectos:

- se realizó la clasificación ABC para escoger los materiales que por presupuesto inicial representan el 90% del costo de materiales de la obra;
- se realizó un cronograma a nivel mensual que muestra las compras y los costos de adquisición de los materiales escogidos;
- se realizó otro cronograma a nivel mensual que muestra las salidas de material en cantidades, pero se traen los costos de adquisición del material en el mismo periodo o en el último donde se compró, teniendo en cuenta todas las obras vigentes en cada periodo;
- se identificó la tasa para el DTF [Depósito a Término Fijo] y el IPC [Índice de Precios al Consumidor] mensual vencido para el periodo de ejecución de cada proyecto;
- se identificó el anticipo pagado para cada proyecto;
- se realizó el VPN mes a mes para las compras consolidadas de cada periodo utilizando una tasa de oportunidad igual al DTF y una tasa de descuento igual al IPC.
- se comparó el VPN de los cuatro escenarios: el escenario real ejecutado descontando el IPC, el escenario real ejecutado invirtiendo el anticipo a la DTF y el escenario simulando el nuevo modelo tanto sin invertir el anticipo como invirtiéndolo a la DTF; y
- se calculó el porcentaje de ahorro frente al costo bruto real generado por el consumo de los materiales.

Para el análisis se consideraron las siguientes condiciones:

- se asume que se cuenta con el anticipo del cliente (45 % del valor inicial del contrato), para invertir solo en compra de materiales;

- en los escenarios donde se invierte el anticipo, se asume que el efectivo sobrante de cada operación de compras mensual queda invertido a la vista a la tasa del DTF de cada mes hasta que se gasta totalmente;
- se asume que todas las compras se realizan en el mismo mes del periodo de consumo del material;
- se asume el presente como el mes anterior al de la primera compra y que en este periodo se recibe el anticipo;
- para este análisis se utiliza solo el costo de compra como costo del material;
- se asume que en todos los escenarios podría ser aplicado el mismo descuento financiero por pronto pago, por lo que no se tiene en cuenta en el análisis; y
- debido a que el análisis se realiza sobre datos reales con precios de compra reales para la empresa durante el periodo de ejecución de las obras, no se considera la probabilidad de variación que tienen los precios de varios materiales por los cambios en el precio del cobre o en el valor del dólar, en caso de elaborar un escenario a futuro debe considerarse realizar un análisis de sensibilidad para validar los resultados.

Los resultados obtenidos se presentan en la TABLA 3. En ella se puede observar que la simulación realizada de un modelo de inventarios que redistribuya

**Tabla 3. Resultados de la validación financiera del modelo (valores monetarios en millones)**

Criterio de evaluación	Proyecto 1	Proyecto 2
VPN costo bruto real de materiales	\$399,96	\$582,84
Efectivo requerido excedente del anticipo a VPN	-\$21,18	-\$75,34
VPN inversión del anticipo a la DTF sin modelo	\$389,58	\$567,69
Ahorro VPN costo bruto - VPN inversión DTF	\$10,37	\$15,15
% de ahorro / Costo bruto real de materiales	2,56%	2,54%
VPN suponiendo nuevo modelo inventarios sin DTF	\$386,98	\$578,61
Ahorro VPN costo bruto - VPN nuevo modelo sin DTF	\$12,98	\$4,23
% de ahorro / Costo bruto real de materiales	3,20%	0,71%
VPN suponiendo nuevo modelo inventarios con DTF	\$371,24	\$557,09
Ahorro VPN costo bruto - VPN nuevo modelo	\$28,72	\$25,76
% de ahorro / Costo bruto real de materiales	7,08%	4,32%

las compras en el horizonte de tiempo del proyecto según la necesidad real determinada por un MRP de obra puede obtener ahorros en el flujo de caja de hasta el 7.08 % sobre el costo bruto real de los materiales de los proyectos analizados.

Específicamente se puede observar que el proyecto 1 presentó un ahorro en el flujo de caja significativo (7,08 %) debido a que realmente concentró las compras en la primera mitad del proyecto; el cambio en el concepto de planear las compras según la necesidad en la obra generó un impacto importante tanto en mayor rentabilidad del anticipo invertido como en el aprovechamiento de las condiciones de mercado en precio, que redujo el costo del material y amortiguó el efecto de la inflación. El ahorro que se presenta podría pasar directamente a la utilidad del proyecto. En la FIGURA 4 se puede apreciar el cambio en la distribución de compras del modelo actual (a) y la simulación (b).

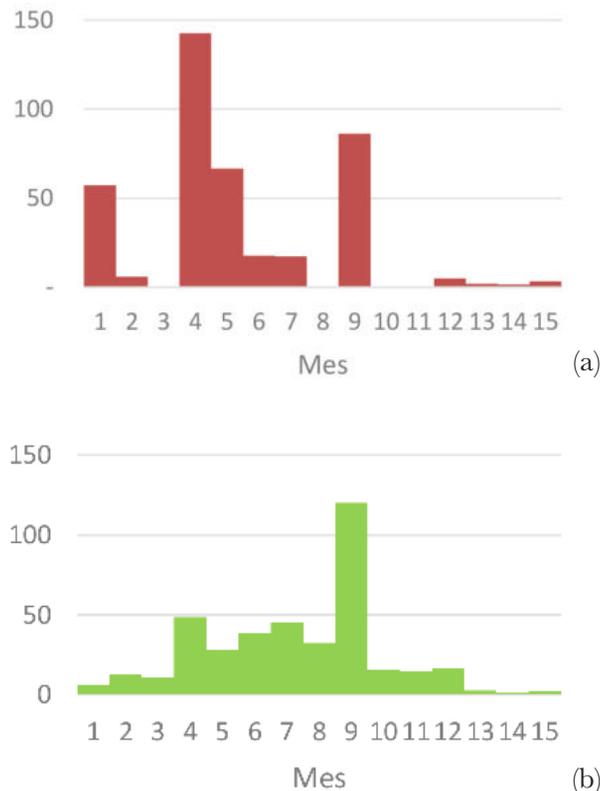


Figura 4. Distribución de las compras para el proyecto 1: (a) actual; (b) simulación

Asimismo, el proyecto 2 mostró un ahorro importante (4,32 %) sobre el costo bruto de los materiales consumidos, que es inferior al del proyecto 1 porque la distribución de las compras original estuvo mejor manejada y algunos ítems de alto costo fueron adquiridos muy cerca de su periodo de utilización; por esta razón, el impacto de la inversión del anticipo fue mayor que el causado por la redistribución de las compras, la inflación también afectó el valor de algunos materiales. En la FIGURA 5 se puede apreciar el cambio en la distribución de compras del modelo actual (a) y la simulación (b).

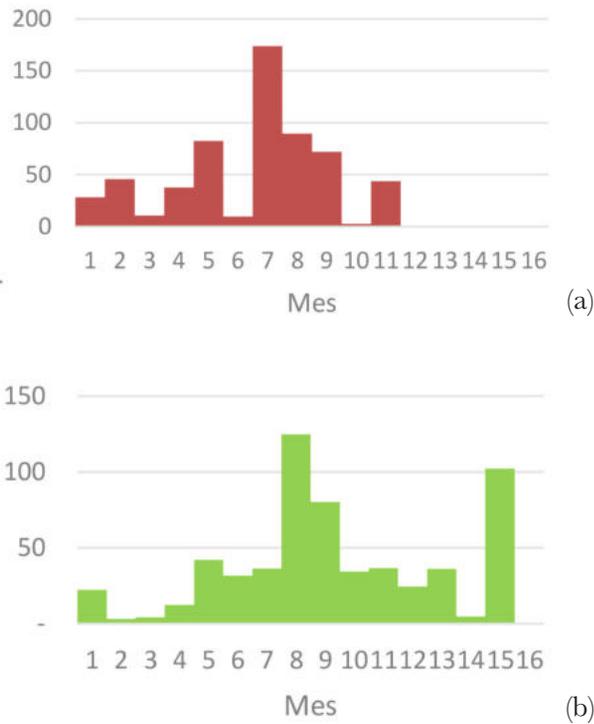


Figura 5. Distribución de las compras para el proyecto 2: (a) actual; (b) simulación

Los resultados se presentaron en un comité primario de la empresa en el que participaron: el gerente, el director de operaciones, la directora de control presupuestal y la jefe de compras. El gerente concluyó que aun cuando las cifras presentadas son muy relevantes, y el modelo implicaría una mayor rentabilidad para cada proyecto y reduciría los riesgos de iliquidez y de un posible endeudamiento para capital de trabajo en las obras, para su implementación la empresa requiere de un cambio importante en sus procesos y mentalidad; los directores y la jefe de compras se mostraron animados a implementar el modelo por considerarlo necesario dada la carencia de control del proceso actual, manifestaron que implementarlo ayudaría a conocer las cifras reales de los costos de los proyectos y reduciría de manera significativa la carga laboral de los encargados de administrar las obras, por lo que se mostraron dispuestos a apoyarlo cuando la gerencia considere que se pueda implementar.

### **PRESENTACIÓN DEL MODELO EN VENSIM PLE**

En la validación que se presentó en los párrafos anteriores se asumió que las compras se hacen una semana antes de la necesidad real del material, en las mismas cantidades requeridas del material y a su precio del mercado al momento de la compra, esta perspectiva genera solo un aproximado de lo que puede suceder en los egresos del flujo de caja del proyecto si se aplica un método de planeación de la compra más ajustado al consumo o la demanda real. El modelo propuesto toma en consideración las variables expresadas en los factores clave identificados para el proceso de gestión del inventario y para su evaluación se aplicó el modelo a un SKU representativo.

Inicialmente se escogió el proyecto 1, comparando la distribución de compras real entre las FIGURAS 4 y 5, que presenta la ejecución de compras más irregular. Luego se realizó el análisis de Pareto y se identificó el ítem de mayor peso porcentualmente en costo, frente a los materiales presupuestados para el proyecto. Como resultado aparecen dos SKU complementarios que se presupuestaron en la misma cantidad y con el mismo precio, la suma del requerimiento de ambos corresponde al 9,73 % del total de materiales presupuestados y al 6,18% del total del presupuesto, porcentajes que superan juntos el SKU que se encuentra en la primera posición del análisis Pareto; este porcentaje se utiliza entonces para calcular el anticipo para el material y la facturación operativa correspondiente. Además, en el cronograma de consumo presenta la mayor frecuencia de utilización en la obra. La anterior selección

aporta representatividad y permite ejemplificar claramente las diferentes condiciones, variables o factores que se estudian con el modelo. Los ítems seleccionados fueron el alambre de cobre No 12 negro y el alambre de cobre No 12 blanco.

En la TABLA 4 se presentan los parámetros constantes utilizados para el comparativo de los escenarios. En el modelo no se define un tiempo de demora en el pago del cliente porque para la fecha en que se realizó el proyecto seleccionado el cliente correspondiente realizaba pagos en la misma semana de generación de la factura; además, debido a la política de aprovechar todos los descuentos financieros, el tiempo promedio de pago de las facturas de proveedores se definió para dos semanas, puesto que los descuentos varían pagando antes de ocho días, hasta treinta días, según la negociación con cada proveedor.

**Tabla 4. Parámetros constantes en la modelación**

Parámetros constates	Escenario actual	Escenario propuesto
Anticipo (\$)	20.003.455,40	20.003.455,40
R (semanas)	N/A	2,00
A (\$ / Pedido x SKU)	N/A	12.540,32
Demanda total (unidades)	57.500,00	57.500,00
L (semanas)	1,00	1,00
s (semanas)	N/A	2,00
Tiempo final (semanas)	60,00	60,00
Periodo previo al primer traslado (semanas)	14,00	14,00
Frecuencia de despacho a obra (semanas)	1,00	1,00
Demora en el pago del cliente (semanas)	-	-
Política de pago a proveedores (semanas)	2,00	2,00

También se manejaron parámetros variables reales que cambian con el tiempo: el DTF, el costo de compra por unidad, la facturación, el porcentaje del costo de manejar inventario y el MRP de obra; todos ellos, menos el DTF, se aplican de igual manera en ambos escenarios. El DTF no se aplicó en el escenario real porque actualmente la empresa no invierte el anticipo.

El cálculo del costo de hacer un pedido se realizó únicamente para 2018 y con ese valor se trabajaron ambos escenarios, sus resultados fueron: \$5'304.555,56



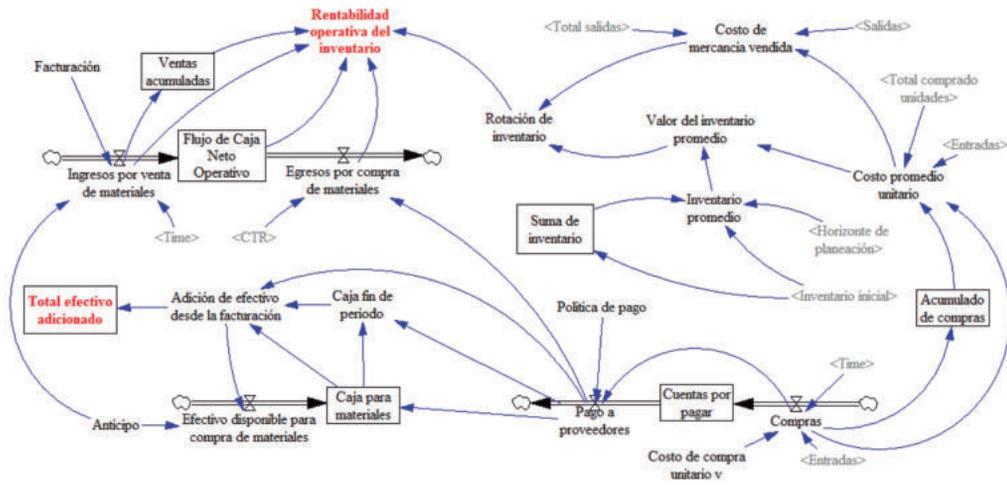


Figura 7. Sistema financiero modelo real actual

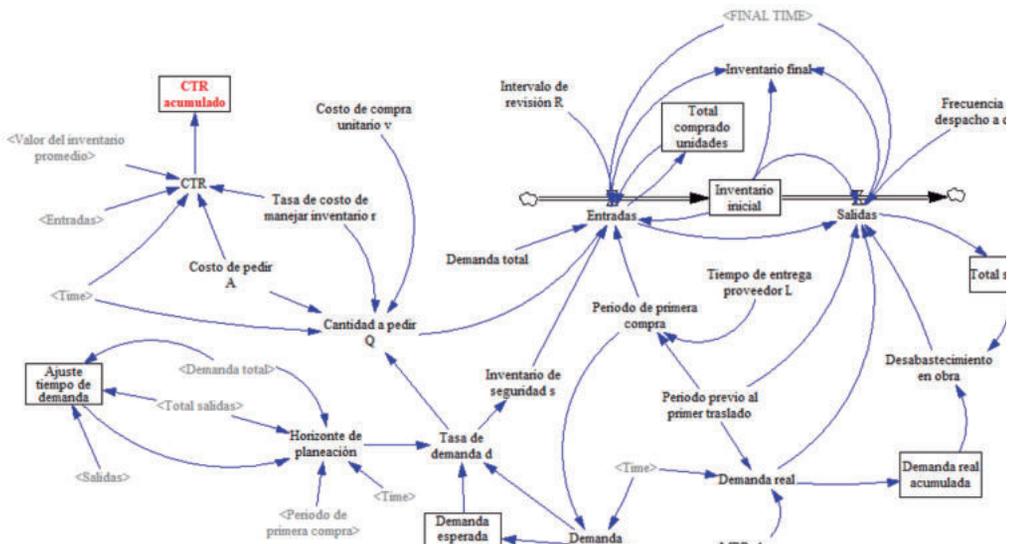
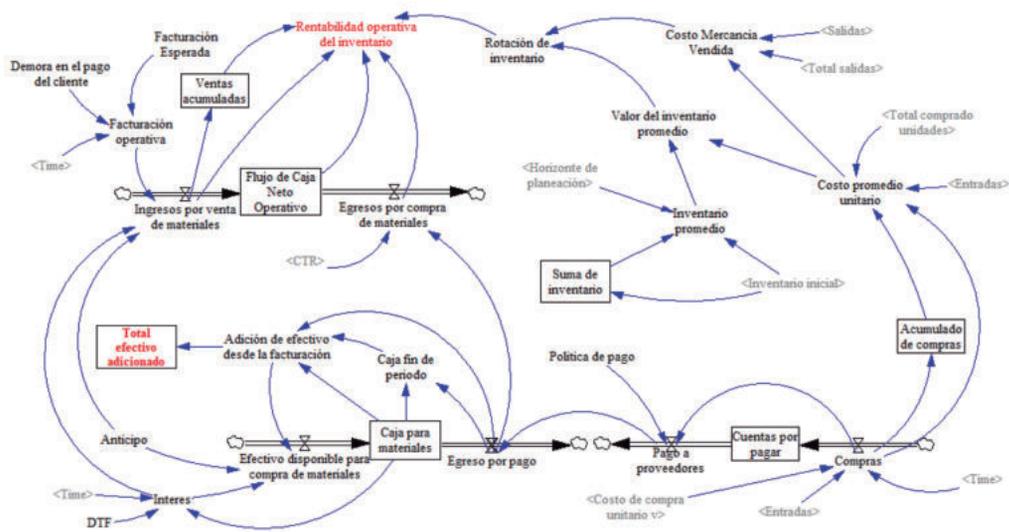


Figura 8. Sistema de inventarios del modelo propuesto

## Modelo de gestión del inventario para una PYME contratista del sector de la construcción

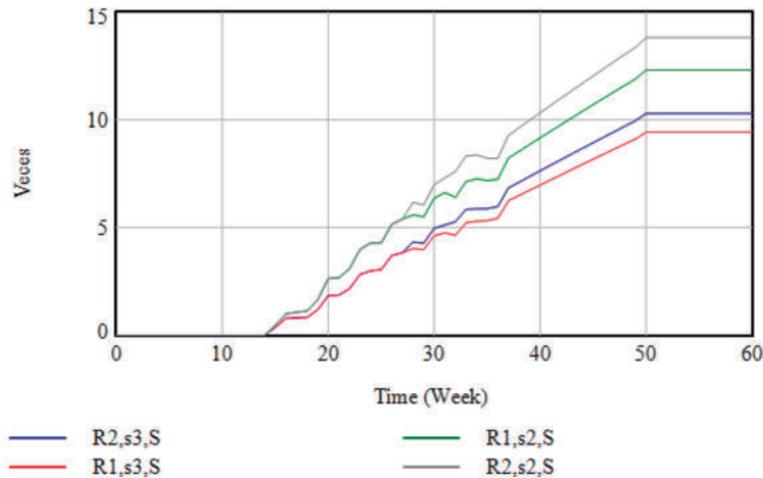


**Figura 9. Sistema financiero del modelo propuesto**

Los sistemas de inventarios y financiero se interrelacionan en cuatro puntos: en los niveles de inventario, que sirven para calcular el inventario promedio; en las entradas y el costo de compra unitario ( $v$ ), que se requieren para calcular las compras; en las salidas y el total de unidades compradas, que sirven para calcular el costo de mercancía vendida; y en el CTR periódico, que se suma a los egresos por compra de materiales con el fin de incluir en el flujo de caja neto operativo los costos logísticos que hacen parte del costo directo de la operación de inventarios.

Para la ejecución de la simulación del modelo real actual, casi todos los parámetros que se requieren están predefinidos, el único susceptible de cambio es la frecuencia de despacho a obra. Este valor, por política de la empresa, está definido para el modelo propuesto en dos semanas, sin embargo, dado que en la realidad del proyecto 1 y de los SKU seleccionados se despachó con frecuencia semanal en varios periodos, se dejó establecido en una semana para ambos escenarios, para que puedan ser comparables y no muestren desabastecimiento, el que se presentaría no por falta de inventario sino porque en un escenario con frecuencia de despacho igual a dos semanas, semana de por medio no se despacha a obra, pero se requiere el material en la obra según el MRP de obra real. Para el modelo propuesto se realizaron varias simulaciones

con diferentes políticas y se seleccionó aquella con el mejor indicador y que no genere desabastecimiento dentro del horizonte de planeación. La política con mejores resultados fue la 2,2,S, como se puede observar en el comparativo de rotación de inventarios realizado para las cuatro mejores políticas que no presentaron desabastecimiento (FIGURA 10).



**Figura 10. Comparativo de la rotación de inventarios para las cuatro mejores políticas del modelo propuesto**

Para la selección de la mejor política de inventarios, se evaluaron los tres criterios que serán tenidos en cuenta para comparar los modelos actual y propuesto: el CTR, el total de efectivo adicionado y la rentabilidad operativa del inventario.

El CTR acumulado es el costo total relevante que resulta de toda la operación logística requerida para administrar los ítems seleccionados del proyecto seleccionado e incluye los costos de realizar pedidos y los de manejo del inventario (se debe escoger el mínimo valor que se presente). La Rentabilidad Operativa del Inventario es un derivado del concepto financiero de rentabilidad operativa del activo y se calcula utilizando la ECUACIONES (2), (3) y (4). En la ECUACIÓN 3 se realiza la equivalencia entre el flujo de caja neto operativo y la utilidad operativa, como la mejor aproximación que se puede lograr para el cálculo del indicador, teniendo en cuenta que en el flujo de caja neto operativo se consideran los intereses generados por la inversión del anticipo.

**Modelo de gestión del inventario para una  
PYME contratista del sector de la construcción**

$$\text{Rentabilidad operativa del inventario} = \frac{\text{Margen de utilidad operativa del inventario}}{\text{Rotación del inventario}} \times \text{Rotación del inventario} \quad (2)$$

$$\text{Margen de utilidad operativo del inventario} = \frac{\text{Flujo de caja neto operativo}}{\text{Ventas}} \quad (3)$$

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{Costo de la mercancía vendida}}{\text{Inventario promedio}} \quad (3)$$

En cuanto al total del efectivo adicionado, el modelo parte con el criterio de aprovechar inicialmente todo el anticipo para la compra de materiales, mientras se consume debería ser invertido en un fondo fiduciario a la vista y los intereses entrarían a incrementar el efectivo disponible para compra de materiales. Cuando el anticipo se consume completamente, incluidos los intereses, el modelo debe tomar dinero de la facturación para completar las compras de materiales hasta terminar la obra; ese valor adicional debe ser el mínimo posible para ayudar a incrementar el flujo de caja neto operativo. Dado que en el modelo estos tres elementos son acumulativos, los valores que se presentan en la TABLA 5 corresponden a la semana 60.

**Tabla 5. Selección de la mejor política de inventarios para el modelo propuesto**

Ítem	R2,s3,S	R1,s3,S	R1,s2,S	R2,s2,S
CTR acumulado (\$ miles)	1.143,70	1.200,55	935,28	879,40
Rentabilidad operativa del inventario (%)	150,26	136,38	185,64	210,09
Total efectivo adicionado (\$ miles)	18.135,50	18.135,50	18.109,90	18.109,90

Las FIGURAS 11 a 14 corresponden a la representación de lo que ocurre en la simulación para cada modelo. Las dos primeras corresponden al modelo actual, las otras dos al modelo propuesto, en ambos casos representan las entradas y salidas del inventario y los ingresos y egresos. En las FIGURAS 15 a 18 se presenta la comparación entre los modelos actual y propuesto en cuanto a los niveles de inventario, el CTR periódico, la adición de efectivo desde la facturación y el flujo de caja neto operativo, respectivamente.

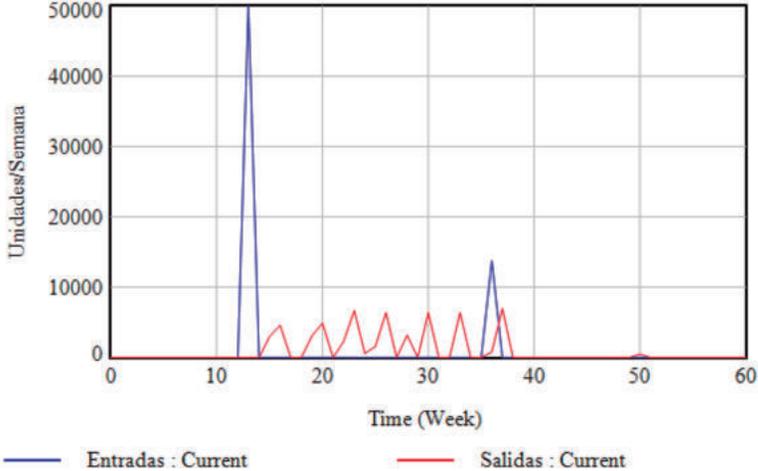


Figura 11. Entradas y salidas de inventario en el modelo actual

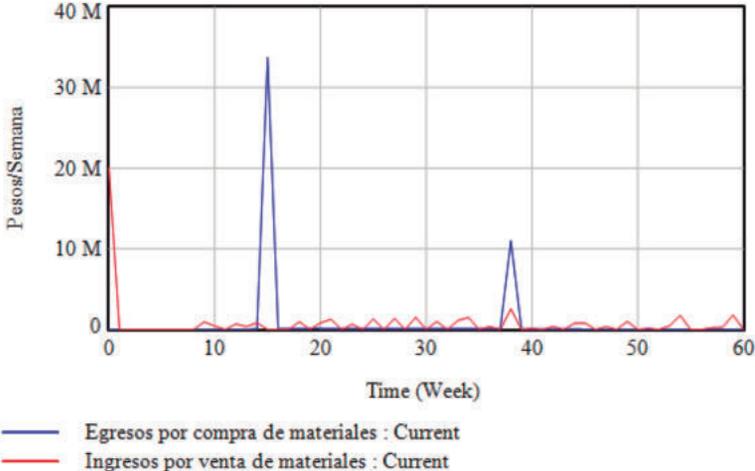


Figura 12. Ingresos y egresos en el modelo actual

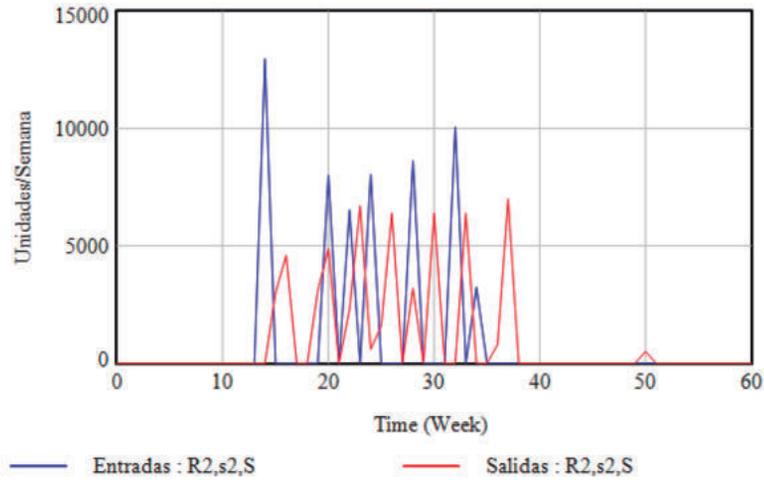


Figura 13. Entradas y salidas de inventario en el modelo propuesto

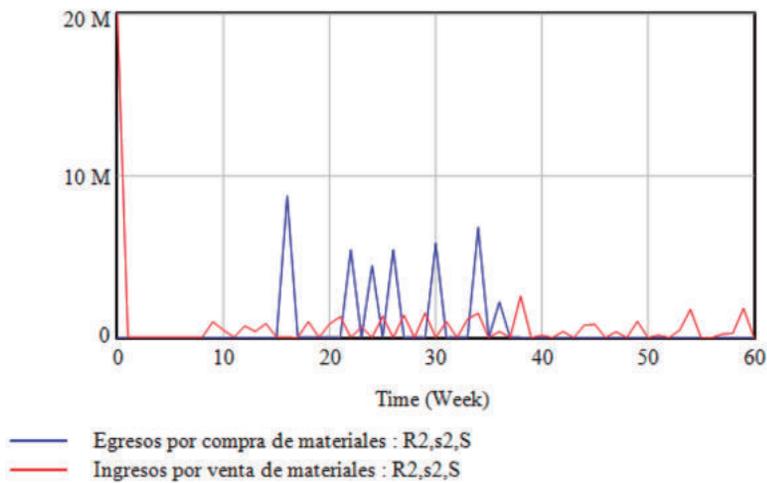


Figura 14. Ingresos y egresos en el modelo propuesto

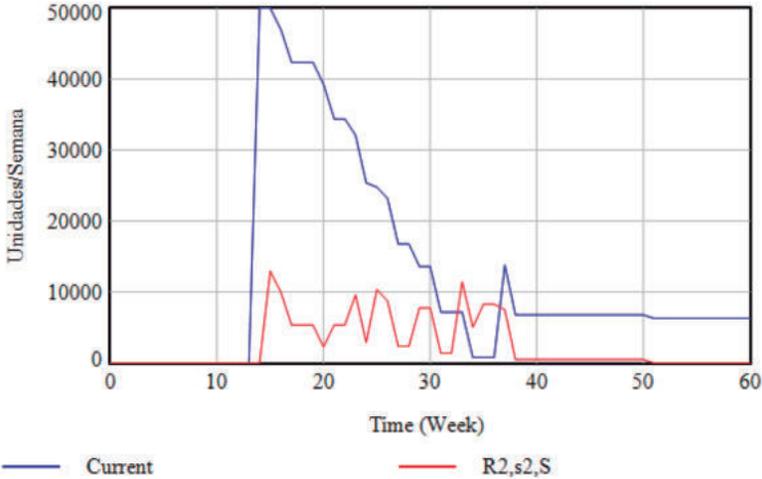


Figura 15. Modelo actual vs modelo propuesto: niveles de inventario

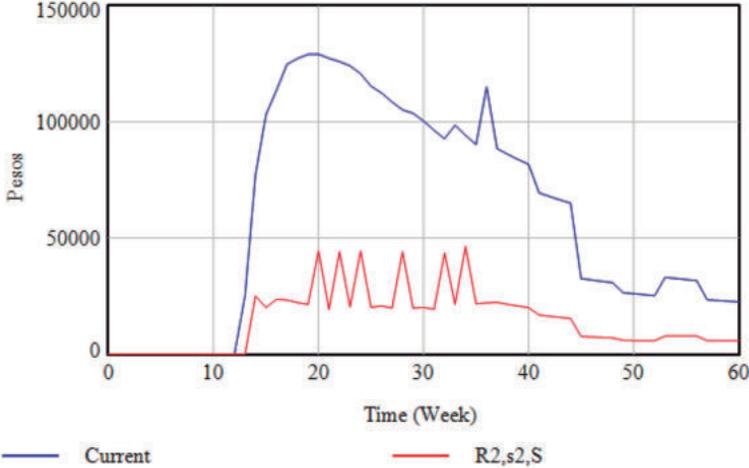


Figura 16. Modelo actual vs modelo propuesto: CTR Periódic

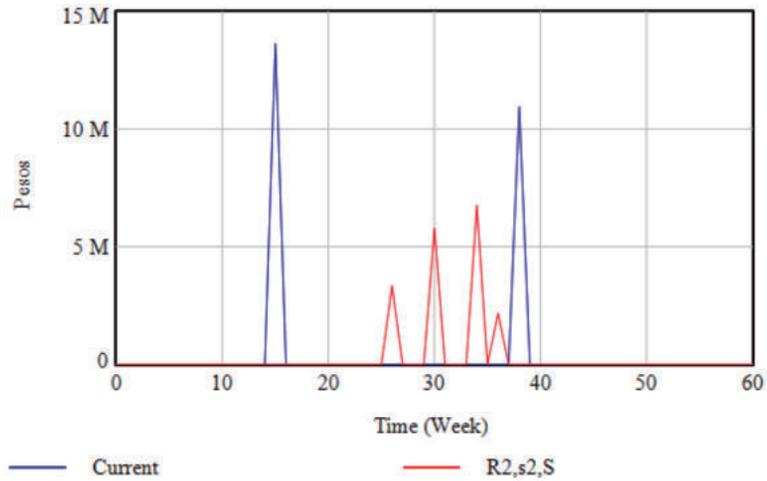


Figura 17. Modelo actual vs modelo propuesto: adición de efectivo desde la facturación

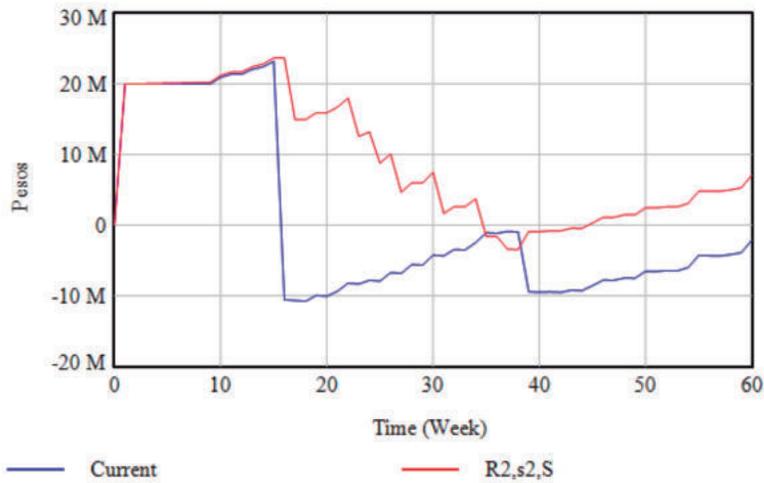


Figura 18. Modelo actual vs modelo propuesto: flujo de caja neto operativo

En la TABLA 6 se resume la comparación de los resultados que presentó la simulación de cada modelo bajo los criterios de evaluación establecidos, como se puede observar en ella, el modelo propuesto representa un cambio muy representativo de los indicadores establecidos.

**Tabla 6. Modelo actual vs modelo propuesto: evaluación comparativa de las simulaciones**

Ítem	Actual	R2,s2,S
CTR acumulado (\$ miles)	3.600,54	879,40
Rentabilidad operativa del inventario (%)	-17,23	210,09
Total efectivo adicionado (\$ miles)	24.590,00	18.109,90

La simulación del modelo actual indica que el manejo que se le dio al SKU seleccionado generó una pérdida operativa del 17,23 %. Esto indica que seguramente se afectó el monto del imprevisto del contrato para cubrir este déficit y fue necesario tomar de la facturación veinticuatro millones de pesos que nunca alcanzaron a ser cubiertos en su totalidad por la facturación (FIGURA 18). El CTR acumulado influyó en este resultado porque los costos logísticos –que en este modelo hacen parte de los costos directos del proyecto– tuvieron un peso representativo, de haber estado más bajos hubieran mejorado la pérdida operativa. El alto valor del CTR se debe principalmente al alto nivel del inventario promedio (FIGURA 15) que elevó sus costos de manejo.

El modelo propuesto presenta una perspectiva totalmente nueva para la empresa, haber alcanzado utilidades operativas de más de dos veces el valor del SKU principalmente debido a la alta rotación propiciada por la reducción drástica del nivel del inventario promedio (FIGURA 15) y con el aporte de la reducción del CTR al valor mínimo posible, lo cual puede implicar en la práctica la cuantificación de las actuales ineficiencias –principalmente en espacio y recursos de almacenamiento–. Por último, la reducción del efectivo adicionado, así como su redistribución en el tiempo (FIGURA 17), implican un mejor rendimiento de intereses, siempre que el anticipo sea invertido, lo cual aporta de manera muy positiva al flujo de caja de la empresa. En la FIGURA 18 se observa un momento en negativo que se produce entre las semanas 35 y 38, momento en el cual se requeriría de financiamiento –interno o externo– para operar, ese déficit de caja ya estaría cubierto en la semana 45 con la facturación del proyecto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto permitió identificar claramente un factor de mejora y múltiples ineficiencias que no se podían cuantificar fácilmente con los medios disponibles previamente en la empresa, por tanto la información generada tiene una alta trascendencia e impacto para ella.

El primer efecto que se observa al implementar un modelo de inventarios estructurado basado en la planeación adecuada de los recursos es la redistribución de las compras de materiales en el tiempo, lo que garantiza un mejor uso del efectivo, de tal manera que aún asumiendo el aumento de tarifas de los materiales por efecto de la inflación o la devaluación, se pueden obtener ahorros o un aprovechamiento sobre los recursos disponibles para ejecutar un proyecto de construcción. La inversión del anticipo desde el momento de su recepción tiene un impacto positivo en la disponibilidad de efectivo para compra de materiales y en el flujo de caja neto operativo; con el modelo propuesto se alarga la vida de la inversión, lo que genera un ingreso por intereses maximizado, la única condición es que la inversión sea a la vista para garantizar su inmediata disponibilidad.

Para utilizar el modelo propuesto en la empresa se requiere implementar un sistema de planeación de obra, dentro del cual se elabore un MRP de obra bien estructurado, que sirva como base para determinar adecuadamente las cantidades a pedir en cada periodo; sin esta planeación es imposible lograr la mejora presentada. El proceso de operación de obra debe garantizar que la facturación corresponda temporal y directamente al consumo y avance de la obra, de esta manera se garantiza un flujo de caja más eficiente, debido a que en la medida en que el ciclo de caja se reduzca por el incremento de la rotación del inventario, se requerirá menos efectivo para comprar materiales y se reinvertirá en cada ciclo lo producido. En ambos modelos se trabajó con la facturación real asumida por el SKU seleccionado, por lo que la demora en el pago del cliente quedó en cero, pero para el caso donde se proyecte a futuro una necesidad se debe parametrizar adecuadamente este factor clave.

La utilización de una herramienta de simulación como Vensim PLE, con modelos bien estructurados, puede ayudar a anticipar necesidades y requerimientos de recursos que ayudarían en el proceso de planeación financiera y operativa de cualquier empresa o proyecto. El modelo propuesto elaborado está diseñado de manera genérica, por lo que no debería ser

complejo adaptarlo al funcionamiento de cualquier otra empresa del sector construcción, manufactura o comercial donde la demanda de sus productos sea dependiente y tenga un comportamiento determinista.

La política actual de aprovechar todos los descuentos financieros y procurar descuentos comerciales por volumen se ve totalmente superada por la rentabilidad que produce el aumento de la rotación del inventario, puesto que un descuento comercial y financiero que se aplica una sola vez (10 % o 15 % en promedio), se multiplicaría tantas veces se complete un ciclo de caja. Hay que tener mucho cuidado porque si el SKU está en pérdida, este ciclo de caja también la multiplica.

Los resultados en términos de CTR del modelo propuesto dejan en evidencia que hay un sobredimensionamiento especialmente en el proceso de manejo del inventario, el cual puede estar representado en espacio o infraestructura de almacenamiento, la posible implementación de este modelo y un cálculo más preciso de esos costos le ofrecería a la empresa una oportunidad de obtener ahorros adicionales por optimización de su operación de manejo del inventario.

Con el modelo propuesto se logra el objetivo que persigue este proyecto, como es el de aumentar la rentabilidad operativa de los materiales y mejorar el manejo y rendimiento del flujo de caja frente al manejo del inventario que la empresa ha estado realizando para la ejecución de todos sus proyectos.

Lo planteado en este proyecto puede complementarse con un modelo de planeación de proyectos de construcción con énfasis en materiales de obra, base fundamental para la implementación exitosa del modelo propuesto. Se recomienda a la empresa evaluar un nuevo software que incluya planeación de compras por MRP y modelos de pronóstico.

La empresa dispone de amplios espacios de almacenamiento mal aprovechados y con mala distribución para los desplazamientos, se recomienda realizar un estudio que mejore estos factores, pues lo que de él resulte puede impactar directa y positivamente los costos logísticos. En este mismo rubro de costo, se debe realizar un estudio más detallado de los costos de pedir y de manejar el inventario pues el proyecto realizado dejó en evidencia que puede haber una capacidad ociosa importante en estos procesos.

Para terminar, se recomienda a la gerencia y al equipo del proceso operativo un cambio de mentalidad que permita implementar las mejoras y, en su momento, al lograrlo, generar el plan de implementación del modelo correspondiente.

## REFERENCIAS

- Agudelo, D. A. & López, Y. M. (2018). Dinámica de sistemas en la gestión de inventarios. *Ingenierías*, 9(1), 75-85. <http://doi.org/10.21500/20275846.3305>
- Arcos, M. A. & Mora, J. J. (2006). Efecto del ciclo de efectivo sobre la rentabilidad de las firmas colombianas. *Cuadernos de Administración*, 21(36), 167-182.
- Arijeloye, B. T. & Akinradewo, F. O. (2016). Assessment of materials management on building projects in Ondo State, Nigeria. *WSN World Scientific News*, 55, 168-185.
- Avellaneda, F. G., Rozo, F. A. V., & Ayala, M. J. C. (2011). Sobre la dinámica de un sistema de gestión de inventarios. En *9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*. [http://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/9-Dinamicas/042\\_1701714042/](http://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/9-Dinamicas/042_1701714042/)
- Baladhandayutham, T., & Venkatesh, S. (2012). An analysis on application of lean supply chain concept for construction projects. *Synergy*, 10(1), 25-36.
- Buenaventura, G. (2017). *Teoría de inversión en evaluación de proyectos y presupuestación de capital*. Universidad Icesi.
- Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Pearson Education.
- Canaleta, X. (n.d.). *Estudio desde el punto de vista de teoría de sistemas del modelo de Wilson para la gestión de inventarios*. <http://users.salleurl.edu/~xavier.canaleta/material/ModelWilson.pdf>
- Dormido, S. & Canto, F. (2005). *Tutorial de Vensim*. [http://www.dia.uned.es/~fmorilla/Web\\_FMorilla\\_Julio\\_2013/MaterialDidactico/Vensim.pdf](http://www.dia.uned.es/~fmorilla/Web_FMorilla_Julio_2013/MaterialDidactico/Vensim.pdf)
- Ejercicios prácticos de dinámica de sistemas* (n.d.). <ftp://facfiet.unicauca.edu.co/ds/Material%20bibliografico/ejercicios%20practicos.pdf>
- Fang, Y. & Ng, S. T. (2011). Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. *Construction Innovation*, 11(3), 259-281. <http://doi.org/10.1108/14714171111149007>
- Fearne, A. & Fowler, N. (2006). Efficiency versus effectiveness in construction supply chains: The dangers of “lean” thinking in isolation. *Supply Chain Management*, 11(4), 283-287. <http://doi.org/10.1108/13598540610671725>
- Fonseca, C. (2011). *Mejoramiento de los procesos de planificación de obras a partir de la introducción de conceptos de gestión logística soportados en TIC para el sector de la construcción en Colombia* [tesis de maestría, Universidad EAFIT]. <http://hdl.handle.net/10784/183>
- García, O. L. (2009). *Administración financiera : fundamentos y aplicaciones*. <https://oscarleongarcia.com/administracion-financiera/>
- Gocken, M., Dostogru, A., & Boru, A. (2017). Optimization via simulation for inventory control and supplier selection. *International Journal of Simulation Modelling*, 16(2), 241-252.

- González, J. A., Solís, R., & Alcudia, C. (2010). Diagnóstico sobre la planeación y control de proyectos en las PYMES de construcción. *Revista de la Construcción*, 9(1), 17-25.
- Ishikawa, K. (1988). *¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa*. Norma.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's quality control handbook*. McGraw-Hill. <http://doi.org/10.1108/09684879310045286>
- Keyte, B. & Locher, D. (2007). *The complete lean enterprise: value stream mapping for administrative and office processes*. Productivity Press.
- Ley 905 de 2004 (2004, agosto 2). *Diario Oficial de Colombia*, 45628, 16-21
- Lu, H., Wang, H., Xie, Y., & Li, H. (2016). Construction material safety-stock determination under nonstationary stochastic demand and random supply yield. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 63(2), 201-212. <http://doi.org/10.1109/TEM.2016.2536146>
- Lu, H., Wang, H., Xie, Y., & Wang, X. (2018). Study on construction material allocation policies: A simulation optimization method. *Automation in Construction*, 90, 201-212. <http://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2018.02.012>
- Martínez, F. L. & Villada, J. G. (2013). Un modelo de dinámica de sistemas para la administración de inventarios. *Revista Soluciones de Postgrado ELA*, 6(11), 121-135.
- Medina, M. A. & Corona, G. A. (2013). *La administración de los materiales en proyectos de edificación mediante modelos BIM*. [https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/comp\\_2013/03.pdf](https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/comp_2013/03.pdf)
- Senge, P. M. (1991). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Currency. <http://doi.org/10.1002/pfi.4170300510>
- Senge, P. M., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R., & Smith, B. (2006). *La quinta disciplina en la práctica: estrategias para el pensamiento sistémico*. Granica.
- Silver, E. A. (2008). Inventory management: An overview. *Information Systems and Operational Research*, 46(1), 15-27. <http://doi.org/10.3138/infor.46.1.15>
- Solís, R., Zaragoza, N., & Fajardo, G. (2009). La administración de los materiales en la construcción. *Ingeniería*, 13(3), 61-71.
- Taha, H. A. (2005). *Operations research: An introduction*. Pearson
- Vélez, L. G. (2012). Causas de la insolvencia empresarial. *Revista Supersociedades*, 4, 27-31.
- Vidal, C. J. (2008). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Universidad del Valle.
- Yuseff, N. (2018). *Propuesta de un modelo de gestión del inventario para una empresa pyme contratista del sector de la construcción* [tesis de maestría, Universidad Icesi]. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/handle/10906/84790](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/84790)
- Zuluaga, L. M. (2010). *Re-diseño y centralización total del área de compras de materiales para construcción, en la empresa constructora Andina S.A.* [tesis de maestría, Universidad Icesi]. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/5366/1/zuluaga\\_compras\\_materiales\\_2010.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/5366/1/zuluaga_compras_materiales_2010.pdf)

**Anexo 1. Formulación del modelo actual**

---

(01)	Acumulado de compras= INTEG ( Compras, 0) Units: **undefined**
(02)	Adición de efectivo desde la facturación= IF THEN ELSE( (Caja fin de periodo)<0 , Pago a proveedores-Caja para materiales , 0 ) Units: Pesos
(03)	Ajuste tiempo de demanda= INTEG ( IF THEN ELSE ( Demanda total<=(Total salidas +Salidas), 1, 0 ) , 0) Units: **undefined**
(04)	Anticipo= pulse (0,1)*2.00035e+07 Units: Pesos
(05)	Caja fin de periodo= Caja para materiales-Pago a proveedores Units: Pesos
(06)	Caja para materiales= INTEG ( Efectivo disponible para compra de materiales-Pago a proveedores, 0) Units: Week*Pesos
(07)	Cantidad pedida Q( [(0,0)-(60,50000)],(0,0),(12,0),(13,50000),(14,0),(35,0),(36,13800),(37,0) ) ,(60,0)) Units: Unidades
(08)	Compras= Costo de compra unitario v (Time) *Entradas Units: **undefined**
(09)	Costo de compra unitario v( [(0,0)-(60,1000)],(0,696),(1,696),(2,706.44),(12,706.44),(13,672.8),(35,672.8 ) ,(36,793.73),(40,793.7),(41,836.57),(45,836.57),(46,838.57),(48,891.46),( 49,931.77),(60,931.8)) Units: Pesos / Unidad
(10)	Costo de mercancía vendida= Costo promedio unitario*(Total salidas+Salidas) Units: **undefined**
(11)	Costo de pedir A= 25080.6 Units: **undefined**
(12)	Costo promedio unitario= ZIDZ( Acumulado de compras + Compras , Total comprado unidades + Entradas ) Units: **undefined**

---

**Anexo 1. Formulación del modelo actual (continuación)**

---

(13)	<p>CTR=  IF THEN ELSE (Entradas=0,0,Costo de pedir A) + Tasa de costo de manejar r  (Time)/100 *Valor del inventario promedio  Units: Pesos / Semana</p>
(14)	<p>CTR acumulado= INTEG (  CTR,  0)  Units: Pesos</p>
(15)	<p>Cuentas por pagar= INTEG (  Compras-Pago a proveedores,  0)  Units: **undefined**</p>
(16)	<p>Demanda acumulada= INTEG (  Demanda real,  0)  Units: **undefined**</p>
(17)	<p>Demanda real=  DELAY FIXED(MRP obra (Time  ), Periodo previo al primer traslado , 0 )  Units: Unidades / Semana</p>
(18)	<p>Demanda total=  57500  Units: **undefined**</p>
(19)	<p>Desabastecimiento en obra=  Demanda acumulada-Total salidas  Units: **undefined**</p>
(20)	<p>Efectivo disponible para compra de materiales= ACTIVE INITIAL (  Anticipo + Adición de efectivo desde la facturación,  Anticipo)  Units: Pesos</p>
(21)	<p>Egresos por compra de materiales=  Pago a proveedores +CTR  Units: Pesos / Semana</p>
(22)	<p>Entradas=  Cantidad pedida Q(Time)  Units: Unidades / Semana</p>
(23)	<p>Facturación(  [(0,0)-(60,3e+06)],(0,0),(8,0),(9,957495),(10,444933),(11,0),(12,697954),  (13,363065),(14,840033),(15,0),(17,0),(18,977182),(19,0),(20,836112),(21,1.27794e+06  ),(22,0),(23,652428),(24,0),(25,1.32063e+06),(26,0),(27,1.3807e+06),(28,0)  ),(29,1.52947e+06),(30,0),(31,1.00742e+06),(32,0),(33,1.14259e+06),(34,1.51536e+06  ),(35,0),(36,383720),(37,0),(38,2.57723e+06),(39,0),(40,139456),(41,0),(42  ,383720),(43,0),(44,774481),(45,818406),(46,0),(47,366767),(48,0),(49,1.0137e+06  ),(50,0),(51,149497),(52,0),(53,476968),(54,1.75319e+06),(55,0),(56,0),(57  ,215787),(58,281330),(59,1.812e+06),(60,0))  Units: **undefined**</p>

---

**Anexo 1. Formulación del modelo actual (continuación)**

- 
- (24) FINAL TIME = 60  
Units: Week  
The final time for the simulation.
- (25) Flujo de Caja Neto Operativo= INTEG (  
    Ingresos por venta de materiales-Egresos por compra de materiales,  
    0)  
Units: Pesos
- (26) Frecuencia de despacho a obra=  
    1  
Units: **\*\*undefined\*\*** [1,60]
- (27) Horizonte de planeación=  
    IF THEN ELSE (  
        Periodo de primera compra>Time,  
        0,  
        IF THEN ELSE(  
            Inventario Final> 0,  
            Time - (Periodo de primera compra - 1),  
            IF THEN ELSE(  
                Demanda total<=Total salidas,  
                Time - (Periodo de primera compra - 1) - Ajuste tiempo de demanda,  
                Time - (Periodo de primera compra - 1)  
            )  
        )  
    )  
Units: **\*\*undefined\*\***
- (28) Ingresos por venta de materiales=  
    Anticipo+Facturación(Time)  
Units: Pesos / Semana
- (29) INITIAL TIME = 0  
Units: Week  
The initial time for the simulation.
- (30) Inventario Final=  
    Inventario inicial+Entradas-Salidas  
Units: **\*\*undefined\*\***
- (31) Inventario inicial= INTEG (  
    Entradas-Salidas,  
    0)  
Units: Unidades / Semana
- (32) Inventario promedio=  
    ZIDZ( Suma de inventario+Inventario inicial , Horizonte de planeación )  
Units: **\*\*undefined\*\***
- (33) MRP obra(  
    [(0,0)-(60,7000)],(0,0),(1,3000),(2,4600),(3,0),(4,0),(5,3100),(6,4900),(  
    7,0),(8,2300),(9,6700),(10,600),(11,1600),(12,6400),(13,0),(14,3200),(15,0  
    ),(16,6400),(17,0),(18,0),(19,6400),(20,0),(21,0),(22,800),(23,7000),(24,0  
    ),(35,0),(36,500),(37,0),(60,0))  
Units: **\*\*undefined\*\***
-

**Anexo 1. Formulación del modelo actual (continuación)**

---

(34)	Pago a proveedores= DELAY FIXED(Compras, Política de pago , 0 ) Units: **undefined**
(35)	Periodo de primera compra= Periodo previo al primer traslado-Tiempo de entrega proveedor L Units: **undefined**
(36)	Periodo previo al primer traslado= 14 Units: **undefined** [1,60] Se coloca el número del periodo menos 1
(37)	Política de pago= 2 Units: **undefined** [1,13]
(38)	Rentabilidad operativa del inventario= ZIDZ( Flujo de Caja Neto Operativo + Ingresos por venta de materiales-Egresos por compra de materiales, Ventas acumuladas + Ingresos por venta de materiales-Egresos por inventario Units: Pesos
(39)	Rotación de inventario= ZIDZ( Costo de mercancía vendida , Valor del inventario promedio ) Units: **undefined**
(40)	Salidas= PULSE TRAIN( Periodo previo al primer traslado +1 , 1 , Frecuencia de despacho a obra , FINAL TIME ) * IF THEN ELSE ((Inventario inicial + Entradas )>=Demanda real + Desabastecimiento en obra , Demanda real+Desabastecimiento en obra, Inventario inicial + Entradas ) Units: Unidades / Semana
(41)	SAVEPER = TIME STEP Units: Week [0,?] The frequency with which output is stored.
(42)	Suma de inventario= INTEG ( Inventario inicial, 0) Units: **undefined**
(43)	Tasa de costo de manejar inventario r( [(0,0)-(60,1)],(0,0.31),(1,0.35),(4,0.35),(5,0.39),(8,0.39),(9,0.43),(12,0.43),(13,0.46),(16,0.46),(17,0.49),(24,0.49),(25,0.48),(28,0.48),(29,0.49),(32,0.49),(33,0.54),(40,0.54),(41,0.47),(44,0.47),(45,0.24),(48,0.24),(49,0.21),(52,0.21),(53,0.28),(56,0.28),(57,0.21),(60,0.21)) Units: **undefined**
(44)	Tasa de costo de manejar r( [(0,0)-(60,1)],(0,0.31),(1,0.35),(4,0.35),(5,0.39),(8,0.39),(9,0.43),(12,0.43),(13,0.46),(16,0.46),(17,0.49),(24,0.49),(25,0.48),(28,0.48),(29,0.49),(32,0.49),(33,0.54),(40,0.54),(41,0.47),(44,0.47),(45,0.24),(48,0.24),(49,0.21),(52,0.21),(53,0.28),(56,0.28),(57,0.21),(60,0.21)) Units: Dmnl / Semana

---

**Anexo 1. Formulación del modelo actual (continuación)**

---

- (45) Tiempo de entrega proveedor L=  
1  
Units: \*\*undefined\*\*
- (46) TIME STEP = 1  
Units: Week [0,?]  
The time step for the simulation.
- (47) Total comprado unidades= INTEG (  
Entradas,  
0)  
Units: \*\*undefined\*\*
- (48) Total efectivo adicionado= INTEG (  
Adición de efectivo desde la facturación,  
0)  
Units: Pesos
- (49) Total salidas= INTEG (  
Salidas,  
0)  
Units: \*\*undefined\*\* [?,57500]
- (50) Valor del inventario promedio=  
Costo promedio unitario \*Inventario promedio  
Units: \*\*undefined\*\*
- (51) Ventas acumuladas= INTEG (  
Ingresos por venta de materiales,  
0)  
Units: \*\*undefined\*\*
-

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto**

---

(01)	Acumulado de compras= INTEG ( Compras, 0) Units: Pesos
(02)	Adición de efectivo desde la facturación= IF THEN ELSE( (Caja fin de periodo)<0 , Egreso por pago-Caja para materiales , 0) Units: Pesos / Semana
(03)	Ajuste tiempo de demanda= INTEG ( IF THEN ELSE ( Demanda total<=(Total salidas +Salidas), 1, 0 ), 0) Units: Semanas
(04)	Anticipo= pulse (0,1)*2.00035e+07 Units: Pesos
(05)	Caja fin de periodo= Caja para materiales-Egreso por pago Units: Pesos / Semana
(06)	Caja para materiales= INTEG ( Efectivo disponible para compra de materiales-Egreso por pago, 0) Units: Pesos / Semana
(07)	Cantidad a pedir Q= sqrt((2*Costo de pedir A*Tasa de demanda d)/(Costo de compra unitario v ( Time)*(Tasa de costo de manejar inventario r (Time)/100))) Units: Unidades
(08)	Compras= Costo de compra unitario v (Time) *Entradas Units: Pesos / Semana
(09)	Costo de compra unitario v( [(0,0)-(60,1000)],(0,696),(1,696),(2,706.44),(12,706.44),(13,672.8),(35,672.8 ),(36,793.73),(40,793.7),(41,836.57),(45,836.57),(46,838.57),(48,891.46),( 49,931.77),(60,931.8)) Units: Pesos / Unidad
(10)	Costo de pedir A= 25080.6 Units: Pesos
(11)	Costo Mercancia Vendida= Costo promedio unitario*(Total salidas+Salidas) Units: Pesos / Unidad

---

**Modelo de gestión del inventario para una  
PYME contratista del sector de la construcción**

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto (continuación)**

- 
- (12) Costo promedio unitario=  

$$\frac{ZIDZ(\text{Acumulado de compras} + \text{Compras}, (\text{Total comprado unidades} + \text{Entradas}))}{\text{Units: Pesos / Unidad}}$$
- (13) CTR=  

$$\text{IF THEN ELSE}(\text{Entradas}=0,0, \text{Costo de pedir A}) + \text{Tasa de costo de manejar inventario r}(\text{Time})/100 * \text{Valor del inventario promedio}$$
Units: Pesos / Semana
- (14) CTR acumulado= INTEG ( CTR, 0 )  
Units: Pesos
- (15) Cuentas por pagar= INTEG ( Compras-Pago a proveedores, 0 )  
Units: Pesos / Semana
- (16) Demanda esperada=  

$$\text{DELAY FIXED}(\text{MRP obra}(\text{Time}), \text{Periodo de primera compra} - 1, 0)$$
Units: Unidades / Semana
- (17) Demanda esperada acumulada= INTEG ( Demanda esperada, 0 )  
Units: Unidades
- (18) Demanda real=  

$$\text{DELAY FIXED}(\text{MRP obra}(\text{Time}), \text{Periodo previo al primer traslado}, 0)$$
Units: Unidades / Semana
- (19) Demanda real acumulada= INTEG ( Demanda real, 0 )  
Units: Unidades / Semana
- (20) Demanda total=  
57500  
Units: Unidades
- (21) Demora en el pago del cliente=  
0  
Units: Semana
- (22) Desabastecimiento en obra=  
Demanda real acumulada - Total salidas  
Units: Unidades
- (23) DTF( [(0,0)-(60,0.002)],(0,0.001425),(4,0.001425),(5,0.00141),(8,0.00141),(9,0.001395),(12,0.001395),(13,0.001373),(16,0.001373),(17,0.00138),(20,0.00138),(21,0.00135),(24,0.00135),(25,0.00132),(28,0.00132),(29,0.001298),(32,0.001298),(33,0.001253),(36,0.001253),(37,0.001193),(40,0.001193),(41,0.001133),(44,0.001133),(45,0.001118),(48,0.001118),(49,0.001103),(52,0.001103),(53,0.001095),(56,0.001095),(57,0.001073),(60,0.001073))  
Units: Dmnl
-

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto (continuación)**

---

(24)	Efectivo disponible para compra de materiales= ACTIVE INITIAL ( Anticipo + Adición de efectivo desde la facturación + Interes, Anticipo) Units: Pesos / Semana
(25)	Egreso por pago= Pago a proveedores Units: Pesos / Semana
(26)	Egresos por compra de materiales= Egreso por pago +CTR Units: Pesos / Semana
(27)	Entradas= PULSE TRAIN(Periodo de primera compra,1,Intervalo de revisión R,FINAL TIME ) * ( INTEGER(IF THEN ELSE ( Demanda total > Total comprado unidades + Cantidad a pedir Q - (Inventario inicial - Inventario de seguridad s), IF THEN ELSE( Inventario de seguridad s < Inventario inicial, 0, Cantidad a pedir Q - (Inventario inicial - Inventario de seguridad s)), Demanda total - Total comprado unidades ) ) ) Units: Unidades / Semana
(28)	Facturación Esperada( [(0,0)-(60,3e+06)],(0,0),(8,0),(9,957495),(10,444933),(11,0),(12,697954), (13,363065),(14,840033),(15,0),(17,0),(18,977182),(19,0),(20,836112),(21,1.27794e+06 ),(22,0),(23,652428),(24,0),(25,1.32063e+06),(26,0),(27,1.3807e+06),(28,0) ,(29,1.52947e+06),(30,0),(31,1.00742e+06),(32,0),(33,1.14259e+06),(34,1.51536e+06 ),(35,0),(36,383720),(37,0),(38,2.57723e+06),(39,0),(40,139456),(41,0),(42 ,383720),(43,0),(44,774481),(45,818406),(46,0),(47,366767),(48,0),(49,1.0137e+06 ),(50,0),(51,149497),(52,0),(53,476968),(54,1.75319e+06),(55,0),(56,0),(57 ,215787),(58,281330),(59,1.812e+06),(60,0)) Units: Pesos
(29)	Facturación operativa= IF THEN ELSE ( Demora en el pago del cliente*Time=0, Facturación Esperada (Time), 0 ) Units: Pesos / Semana
(30)	FINAL TIME = 60 Units: Week The final time for the simulation.
(31)	Flujo de Caja Neto Operativo= INTEG ( Ingresos por venta de materiales-Egresos por compra de materiales, 0) Units: Pesos / Semana

---

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto (continuación)**

- 
- (32) Frecuencia de despacho a obra=  
1  
Units: Semanas [1,60]
- (33) Horizonte de planeación=  
IF THEN ELSE (  
Periodo de primera compra>Time,  
0,  
IF THEN ELSE(  
Demanda total<=Total salidas,  
Time - (Periodo de primera compra - 1) - Ajuste tiempo de demanda,  
Time - (Periodo de primera compra - 1)  
)  
)  
Units: Semanas [0,60]
- (34) Ingresos por venta de materiales=  
Anticipo+Facturación operativa +Interes  
Units: Pesos / Semana
- (35) INITIAL TIME = 0  
Units: Week  
The initial time for the simulation.
- (36) Interes=  
DTF (Time) \* Caja para materiales  
Units: Pesos / Semana
- (37) Intervalo de revisión R=  
2  
Units: Semanas [1,60]
- (38) Inventario de seguridad s=  
(Tasa de demanda d) \* 2  
Units: Unidades
- (39) Inventario final=  
Inventario inicial+Entradas-Salidas  
Units: Unidades / Semana
- (40) Inventario inicial= INTEG (  
Entradas-Salidas,  
0)  
Units: Unidades / Semana
- (41) Inventario promedio=  
ZIDZ( Suma de inventario + Inventario inicial , Horizonte de planeación  
)  
Units: Unidades
- (42) MRP obra(  
[(0,0)-(60,7000)],(0,0),(1,3000),(2,4600),(3,0),(4,0),(5,3100),(6,4900),(  
7,0),(8,2300),(9,6700),(10,600),(11,1600),(12,6400),(13,0),(14,3200),(15,0  
) ,(16,6400),(17,0),(18,0),(19,6400),(20,0),(21,0),(22,800),(23,7000),(24,0  
) ,(35,0),(36,500),(37,0),(60,0))  
Units: Unidades
-

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto (continuación)**

- 
- (43) Pago a proveedores=  
 DELAY FIXED(Compras, Política de pago , 0 )  
 Units: Pesos / Semana
- (44) Periodo de primera compra=  
 Periodo previo al primer traslado+1-Tiempo de entrega proveedor L  
 Units: Semanas
- (45) Periodo previo al primer traslado=  
 14  
 Units: Semanas
- (46) Política de pago=  
 2  
 Units: Semanas
- (47) Rentabilidad operativa del inventario=  
 ZIDZ( Flujo de Caja Neto Operativo +Ingresos por venta de materiales-Egresos por compra de materiales, Ventas acumuladas+Ingresos por venta de materiales) \*Rotación de inventario  
 Units: Veces
- (48) Rotación de inventario=  
 ZIDZ( Costo Mercancia Vendida , Valor del inventario promedio )  
 Units: Veces
- (49) Salidas=  
 PULSE TRAIN( Periodo previo al primer traslado +1 , 1 , Frecuencia de despacho a obra , FINAL TIME ) \* IF THEN ELSE  
 ((Inventario inicial + Entradas  
 )>=Demanda real + Desabastecimiento en obra  
 , Demanda real+Desabastecimiento en obra,  
 Inventario inicial + Entradas )  
 Units: Unidades / Semana
- (50) SAVEPER =  
 TIME STEP  
 Units: Week [0,?]  
 The frequency with which output is stored.
- (51) Suma de inventario= INTEG ( Inventario inicial,  
 0)  
 Units: Unidades
- (52) Tasa de costo de manejar inventario r(  
 [(0,0)-(60,1)],(0,0.31),(1,0.35),(4,0.35),(5,0.39),(8,0.39),(9,0.43),(12,  
 0.43),(13,0.46),(16,0.46),(17,0.49),(24,0.49),(25,0.48),(28,0.48),(29,0.49  
 ),(32,0.49),(33,0.54),(40,0.54),(41,0.47),(44,0.47),(45,0.24),(48,0.24),(49  
 ,0.21),(52,0.21),(53,0.28),(56,0.28),(57,0.21),(60,0.21))  
 Units: Dmnl \* Semana
- (53) Tasa de demanda d=  
 ZIDZ( Demanda esperada acumulada+Demanda esperada , Horizonte de planeación  
 )  
 Units: Unidades / Semana
- (54) Tiempo de entrega proveedor L=  
 1  
 Units: Semanas
-

**Anexo 2. Formulación del modelo propuesto (continuación)**

---

- (55) TIME STEP = 1  
Units: Week [0,?]  
The time step for the simulation.
- (56) Total comprado unidades= INTEG (  
Entradas,  
0)  
Units: Unidades / Semana [?,57500]
- (57) Total efectivo adicionado= INTEG (  
Adición de efectivo desde la facturación,  
0)  
Units: Pesos
- (58) Total salidas= INTEG (  
Salidas,  
0)  
Units: Unidades / Semana [?,57500]
- (59) Valor del inventario promedio=  
Costo promedio unitario \* Inventario promedio  
Units: Pesos
- (60) Ventas acumuladas= INTEG (  
Ingresos por venta de materiales,  
0)  
Units: Pesos / Semana
-



# DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL ÁREA DE LOGÍSTICA DE UNA EMPRESA MULTINACIONAL

Eduardo José Alvarado Quintero, MSc.

Andrés López Astudillo, Ph.D

## **Citación**

Alvarado, E. & López, A. (2020). Diseño de un modelo de gestión del conocimiento para el área de logística de una empresa multinacional. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 6, *Gestión de inventarios - Gestión del conocimiento - Gestión de mantenimiento* (pp. 81-112). Universidad Icesi.



---

## RESUMEN

---

Luego de tercerizar el ciclo *Order To Cash* [OTC] en un típico *Business Process Outsourcing* [BPO], una compañía multinacional, líder mundial en productos de consumo masivo, ha venido enfrentando un cambio estructural en el que hay una clara separación en la administración y ejecución de los procesos operativos, realizada por el BPO; el control de los procesos, ejercido por personas de la compañía, y la gestión de procesos regionales, también liderados por personas de la compañía a través de un nuevo cargo, el de *Business Process Specialist* [BPS], cuya finalidad es analizar el macro proceso desde una perspectiva regional con el fin de capitalizar oportunidades de estandarización de procesos y oportunidades de mejora. Se propone un modelo de gestión del conocimiento para esta “nueva” organización que le permite a la compañía administrar de manera estructurada su capital intelectual, específicamente el que tiene relación con el conocimiento organizacional, para así disminuir los riesgos del proceso de tercerización, mejorar los controles y agregar valor a toda la organización.

## INTRODUCCIÓN

La tercerización como estrategia organizacional es una alternativa cada vez más usual, de esta forma las empresas logran beneficios, como ahorros en costos, que impactan positivamente sus estados financieros. A pesar de esas ventajas, se han identificado riesgos o fallas en los procesos, algunas de ellas producto de la dependencia de dichos proveedores.

La gestión del conocimiento es una herramienta fundamental de la administración del capital intelectual de de las organizaciones. Dado que provee modelos enfocados en la administración del conocimiento, fomenta su creación y lo comparte entre toda la organización, se ha convertido en una pieza fundamental de diversas compañías a nivel mundial.

La empresa de este caso es una multinacional líder en la comercialización de alimentos de consumo masivo en diferentes categorías con oficinas centrales en los Estados Unidos. Latinoamérica, gracias a su significativo crecimiento, es una de sus principales regiones a nivel estratégico, se espera que para 2020 sea la región con mejores indicadores económicos, de eficiencia operativa y de servicio al cliente.

En Latinoamérica la empresa cuenta con varios clústeres, todos con una estructura jerárquica similar: México, Brasil, Cono Sur (Argentina y Uruguay) y WACAM [*Western Andean and Central America*]. Este último incorpora: países del Caribe (Puerto Rico y República Dominicana); todos los de América Central, con excepción de Belice; y los del oeste de América del Sur (Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia y Chile). Venezuela no hace parte de la región de Latinoamérica y se administra por separado bajo una figura de *stand alone*.

En 2015, a nivel global, la empresa inició una estrategia de tercerización de procesos administrativos que involucró a las áreas de: compras; finanzas y contabilidad; logística y servicio al cliente; y recursos humanos. Se eligieron proveedores globales para cada uno de los procesos y se les dio el nombre de Centros de Servicio Compartidos [CSC]. Un CSC reúne las solicitudes por región de un proceso en partículas y lo ejecuta siempre de la misma manera.

Si bien esta estrategia ha logrado ahorros significativos para la compañía (derivado de los menores salarios pagados por los terceros), también ha traído cambios significativos, el de mayor importancia la salida de muchos empleados cuyas funciones eran las que fueron entregadas a los trabajadores subcontratados.

En el marco de la investigación reportada en este documento se analizó –y propuso– un modelo de gestión del conocimiento para Latinoamérica, específicamente en el área de *Order to Cash* [OTC], la administración de pedidos, facturación y administración de créditos y cobranza, área que forma parte del denominado *Customer Service and Logistics* [CS&L].

Implementar la gestión del conocimiento en esta área es de gran importancia porque permite minimizar los riesgos de pérdida de conocimiento individual y colectivo derivados de la estrategia de tercerización. Además, con un modelo de gestión del conocimiento, el área tendrá una herramienta dinámica que permitirá mejorar constantemente los procesos operativos y estratégicos y optimizar el capital intelectual de la compañía. Se espera que este modelo sea la base para futuras implementaciones a nivel regional y transversal, y que pueda replicarse en otras áreas.

## SITUACIÓN INICIAL

La tercerización adelantada por la empresa ha generado diversas afectaciones a los procesos organizacionales, no solo las personas han sido reemplazadas, sino que las formas de trabajo han cambiado con la introducción de nuevos actores dentro de la organización. Dentro de esta “nueva organización” han surgido nuevos roles organizacionales. Con esta nueva forma de trabajo, se ha cambiado el enfoque, ya no en procesos locales sino en procesos funcionales/regionales. Es así como: de analistas de facturación, de administración de órdenes se pasó a tener especialistas en administración de órdenes; de tener analistas de pagos, deducciones, manejo de créditos, a tener especialistas de finanzas de clientes. Puede que este cambio no se entienda mucho solo a nivel de descripción de los cargos, pero en el fondo lo que se hizo fue separar todas las actividades netamente operativas de las estratégicas, entregando las operativas a un tercero (en este caso ubicado en la India) y las estratégicas y de control a personas que aún son parte de la compañía en varios países.

En línea con lo anterior y con los objetivos del proyecto, se redujo personal administrativo y sus tareas se consolidaron en el tercero. Quienes quedaron en los nuevos puestos organizacionales tuvieron que construir su historia de cero en la organización. A pesar de que se realizó un exhaustivo proceso de selección y de retención del conocimiento operativo –liderado en gran medida por el tercero–, gran parte de él se fue de la organización junto con las personas

que fueron retiradas. Lo anterior se debe en gran medida a que la transición organizacional se enfocó, con gran éxito, en la generación y validación de procedimientos operativos estandarizados [SOP, *Standard Operating Procedure*], y no en procesos estratégicos o de gestión administrativa del área. En otras palabras, solo se aseguró que los procesos operativos siguieran prestándose, fuera por el tercero o por las personas de la organización que quedaron retenidas.

En este mismo contexto organizacional se crearon nuevos cargos regionales, los cuales respondían a la estrategia gerencial de tener “torres de control” operacional que fijaran el rumbo del área y entregaran los lineamientos de la implementación del proyecto de tercerización, para que posteriormente se enfocaran en establecer el futuro estratégico del área. En cierta forma, estos cargos nuevos debían absorber el conocimiento organizacional y de los sistemas operativos que se habían creado –y se venían usando– en cada uno de los países. La responsabilidad en este caso, al ser procesos transversales, se hizo exponencial, más aún en una organización cada vez más regional, ya que su principal función es manejar proyectos de alto impacto organizacional, de sistemas operativos, de formas de hacer las cosas (procedimientos), involucrando nuevas tecnologías, accesos a las actuales y la alineación del área para cumplir con requerimientos externos (legales o de clientes). Estos cargos nuevos son ahora los especialistas en procesos de negocio [*Business Process Specialist*, BPS].

A pesar del impacto que tiene en la organización el conocimiento, no existe un procedimiento que describa el rumbo a seguir, un mapa de conocimiento claro o procedimientos operacionales que definan actividades críticas; no están solos en su proceder, ya que están alineados con las torres de control globales que se crearon con la implementación de las nuevas formas de trabajo organizacionales, pero si deben conocer detalles específicos y particularidades de la región y de los sistemas operativos que pueden ser trascendentales en los procesos de cambio y mejora.

Pero más allá de que no se tenga información o procedimientos organizacionales, no se cuenta con una metodología clara de cómo establecer principios de gestión de conocimiento en la nueva organización. En entrevistas realizadas a algunos de los gerentes y coordinadores se logró establecer que tampoco se ha explorado el posible desarrollo de una metodología para gestionar el conocimiento de las personas, en términos de retenerlo, compartirlo y mejorarlo.

Si se identifica el papel principal de la empresa como el de integrar el conocimiento especializado residente en individuos hacia bienes y servicios (Grant, 1996) y se acepta que la tarea principal de la dirección es establecer la coordinación necesaria para esta integración del conocimiento (Grant, 1996), es indispensable, en cualquier organización, establecer una propuesta integral de gestión del conocimiento.

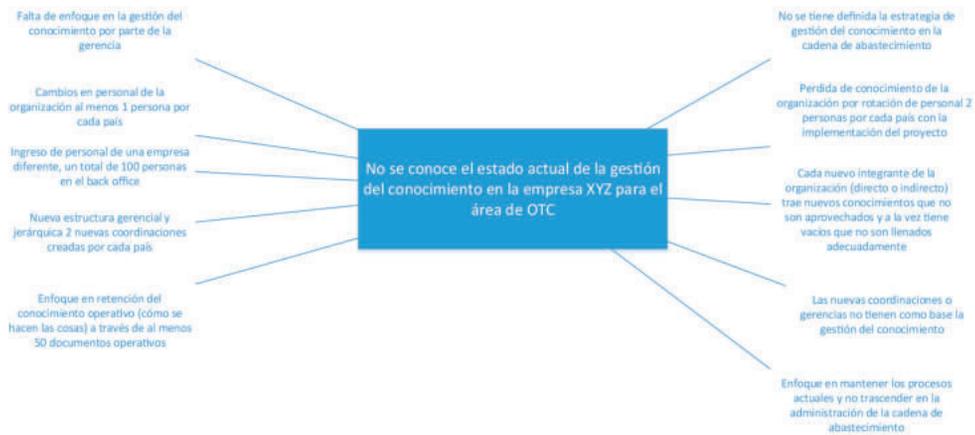
Si bien desde antes de tomar la decisión de entregar la administración de los procesos a un tercero no existía una tendencia a la coordinación de conocimientos por parte de la gerencia, ahora cuando parte del personal no pertenece a la organización es indispensable poder cambiar el enfoque de la gerencia en la administración del conocimiento.

El ingreso de los nuevos actores –directos e indirectos– han hecho que la identidad organizacional se vea afectada. Más allá de los principios o valores inculcados que han definido los lineamientos institucionales, es claro que en estos procesos de acoplamiento se perderá parte de los conocimientos y prácticas organizacionales exitosas, se tendrán reprocesos operativos, demoras en la ejecución de los mismos y, en últimas, se perderá eficiencia.

Se ha hecho evidente que la falta de conocimiento de los nuevos roles dentro de la organización ha generado diferentes novedades tanto operativas como en fallas de servicio a los clientes internos y externos. Detalles sencillos, como dejar de despachar un pedido por no conocer el proceso de gestión con los entes fiscales en cada uno de los países, los hallazgos en auditorías internas sobre procedimientos errados por desconocimiento de normas o controles operacionales, y el reiterativo proceso de generación de solicitudes a la línea de ayuda por problemas que corresponden a configuraciones no realizadas, entre otros, son ejemplos de lo que se ha hecho evidente.

Pudiera no ser la principal causa de incumplimientos en los indicadores de venta, ya que la operatividad recae sobre un tercero que se ha hecho experto en transacciones y procedimientos, pero si se ha hecho evidente que existe un alto riesgo de frenar operaciones completas por implementaciones o cambios mal realizados o por análisis de requerimientos mal ejecutados en los sistemas operativos bajo responsabilidad de los BPS.

En la FIGURA 1 se resume el análisis de causas y efectos. Además de las causas ya explicadas, es importante tener en cuenta que los cambios organizacionales no solo se han dado a nivel operativo. La gerencia y la gerencia media del área



**Figura 1. Causas y efectos del desconocimiento de la gestión del conocimiento en la empresa**

se ha visto modificada en cuanto a su alcance y jerarquía, lo que ha generado que personas sin el conocimiento completo de los procesos se vean enfrentadas en su cotidianidad a la coordinación de las actividades primarias y operativas de personas bajo su mando y de terceros. Esto ha agravado la definición de la gestión del conocimiento, pues día a día lo que se hace es “apagar incendios” operativos para salvar el proceso.

Por otro lado, como respuesta a la problemática diaria, los esfuerzos por retener el conocimiento se han dado, más por la necesidad de la transición que por iniciativa de la organización. Nunca existieron manuales operativos ni procedimientos detallados de cómo realizar cada uno de los procesos, por el contrario, cada individuo respondía por su día a día y nunca se cuestionó si esa era la mejor forma ejecutar su labor. En consecuencia, una de las tareas principales del proyecto de tercerización fue la generación de manuales operativos, sin embargo, en ellos se plasmaron únicamente las tareas operativas que fueron entregadas. Estos procedimientos si bien definen paso a paso qué hacer y qué no hacer para cada actividad –una gran ayuda si se tiene en cuenta que buena parte de quienes realizaban estas actividades ya no se encuentra en la organización–, no son integrales.

Entendiendo que el conocimiento tácito no es directamente apropiado porque no puede ser transferido directamente, sino que solo puede ser apropiado

mediante su aplicación a la actividad productiva (Grant, 1996) es indispensable que la empresa inicie la gestión de su conocimiento bajo un contexto nuevo, donde algunos actores ya no están y hay en nuevos actores y circunstancias organizacionales.

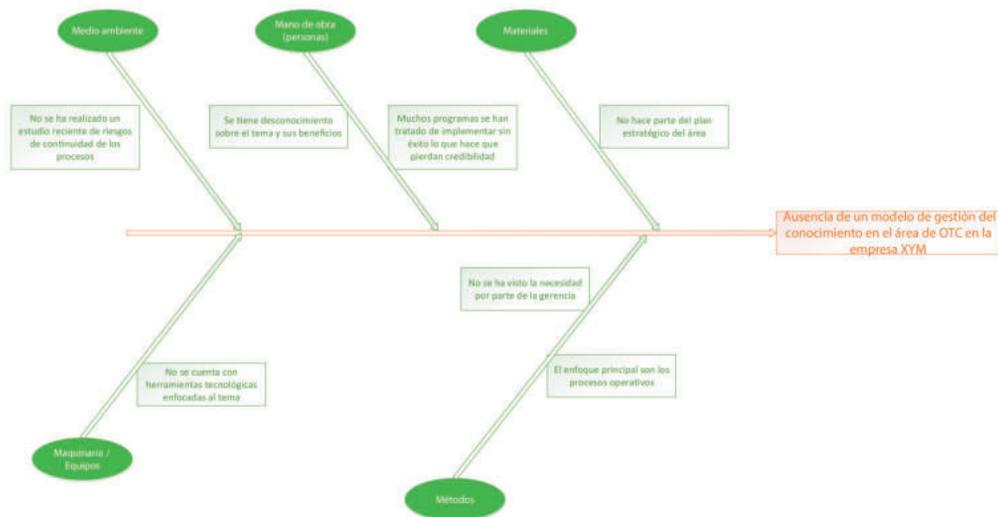
En claro que la empresa, específicamente su área de OTC a nivel regional, está expuesta de manera significativa al riesgo de continuidad de sus procesos, ya que siguiendo los lineamientos corporativos ha entregado la administración de los mismos a un tercero, pero no cuenta con modelos de gestión del conocimiento adecuados que le permitan afrontar con éxito las adversidades que se puedan presentar. En consecuencia, se definió como objetivo del proyecto: Diseñar un modelo de gestión para administrar de manera efectiva el conocimiento del área de OTC en la empresa, con la expectativa de que sirva de ejemplo para la región latinoamericana. Para alcanzar este objetivo, se establecieron cuatro objetivos específicos, así:

- realizar una revisión teórico práctica de los modelos de gestión de conocimiento aplicados en diferentes ámbitos organizacionales que pudieran ser implementados;
- realizar un análisis para identificar el estado del modelo actual de gestión del conocimiento en el área de OTC, identificando las bases que permitirían implementar un nuevo modelo de gestión del conocimiento;
- proponer un modelo de gestión del conocimiento, una herramienta que agregue valor a la organización y que maximice la administración del conocimiento; y
- demostrar cómo un único caso definido puede servir de base para impactar a toda la región.

En esta investigación, desarrollada en un periodo de cuatro meses y medio, se utilizó la metodología de caso de estudio, como se detalla en Alvarado (2018). El trabajo incluyó: la investigación sobre modelos de gestión del conocimiento; el análisis comparativo de la situación actual y la situación propuesta; el análisis comparativo de la situación actual enfocado en cómo llegar a la situación esperada; y la validación del modelo de gestión.

Se consideró adecuado iniciar con una muestra representativa que permitiera establecer una metodología de gestión del conocimiento, se espera que definir la factibilidad y conveniencia de su implementación para los BPO, permitirá su ampliación al resto de la organización del área OTC. Con ello en mente,

se realizó un análisis de las causas por las cuales no se ha implementado un modelo de este tipo, lo que se realizó a partir de entrevistas a algunas personas del área, desde analistas hasta coordinadores, cuyas respuestas se consolidaron como causas principales (ver FIGURA 2). Como es evidente en ella, muchas de estas causas apuntan al desconocimiento del tema, a iniciativas anteriores que no fueron realizadas o simplemente a su falta de consideración dentro de la estrategia organizacional.



**Figura 2. Causas de la ausencia de un modelo de gestión del conocimiento en el área de OTC de la empresa**

## MARCO TEÓRICO

Los elementos de este marco teórico son el capital intelectual, la gestión del conocimiento y las estrategias de tercerización.

De acuerdo con Marín (2005), el concepto de capital intelectual resulta de una compleja dinámica de la relación entre el saber cómo [*know how*] y el saber por qué [*know why*]; este capital, a diferencia de los recursos materiales incorporados al producto, no se consume con el producto, sino que más bien se deposita en la organización, como riqueza que crea riqueza. Su importancia radica en cómo las organizaciones lo usan para innovar productos, procesos organizacionales y cultura.

En las empresas, el interés por la gestión del conocimiento ha venido asociándose con la valorización del capital intelectual, con la calidad y con la creación de estructuras inteligentes (Pérez et al., 2005), aspecto que justifica la introducción del concepto de gestión del conocimiento, ya que establece una relación directa entre este concepto y las estrategias organizacionales.

Ya en términos prácticos, capital intelectual hace referencia a la combinación de los activos inmateriales que permiten funcionar a la empresa, el mismo que, de acuerdo con Brooking y Guix (1997), puede dividirse en cuatro categorías, como se muestra en la TABLA 1.

**Tabla 1. Capital intelectual: tipos de activo (Brooking & Guix, 1997)**

Tipo	Descripción
Activos de mercado	Potencial derivado de los bienes inmateriales que guardan relación con el mercado y le dan a la empresa una ventaja competitiva en él, tales como las marcas, la clientela y los canales de distribución.
Activos de propiedad intelectual	Los “secretos” que le aseguran a las organizaciones ser “únicas” en el mercado o en sus procesos, tales como el <i>know how</i> , las patentes y los derechos de autor.
Activos centrados en el individuo	No son propiedad de la empresa, comprenden la pericia colectiva y creativa, la habilidad para resolver problemas, el liderazgo y la capacidad empresarial, aspectos importantes que establecen al individuo como una entidad dinámica que puede adaptarse a diversos trabajos a lo largo del tiempo y reconocen que un negocio requiere personas para poder funcionar.
Activos de infraestructura	Tecnologías, metodologías y procesos que hacen posible el funcionamiento de la organización, como es el caso de la cultura corporativa, las metodologías para el cálculo de riesgos y la estructura financiera, entre otros. Son particulares de cada empresa, a ella le aportan orden, seguridad, corrección y calidad, y le proporcionan un contexto para que sus empleados trabajen y se comuniquen entre sí.

Tomando como base la definición de capital intelectual y en estricta relación con él, se concibe el concepto de gestión de conocimiento, como la forma en la que las empresas generan comunican y aprovechan sus activos intelectuales (Pérez et al., 2005).

En ese orden de ideas una buena gestión del conocimiento debe contemplar acciones concretas y estructuradas para que la organización: estimule la creación del conocimiento; convierta el conocimiento abstracto o tácito a codificado o explícito; facilite la integración del mismo a las actividades diarias; y obtenga

una ventaja competitiva (Pérez et al., 2005), para posteriormente socializarlo, combinarlo y construirlo de manera colectiva (Marín, 2005).

Para entender la socialización del conocimiento se tendría que estudiar cómo se entrelazan las ruedas de aprendizaje individual y cómo sus contenidos y dinámicas determinan la rueda del aprendizaje colectivo. En otras palabras, a partir del aprendizaje individual y su constante reformulación –en un proceso cíclico–un círculo de aprendizaje colectivo es influenciado, el mismo que afecta tanto al conocimiento tácito como al explícito de la organización (Marín, 2005). Es en este punto en el que las plataformas colectivas de conocimiento y la gestión de estos procesos tienen importancia, ya que a través de ellas el colectivo actualiza sus conocimientos a ambos niveles, organizacional y personal.

De todo lo anterior se han identificado diversos beneficios relacionados con la implementación de la gestión del conocimiento en las organizaciones, lo cual provee una justificación para que ellas decidan invertir recursos y tiempo en este proceso. De acuerdo con Pérez-Montoro (2008), estos beneficios son:

- la prevención de las fugas del conocimiento, ya que este entra en un proceso sistemático de retención;
- la mejora en la toma de decisiones, puesto que van a estar basadas en más y mejores argumentos; y
- la adaptabilidad y flexibilidad, ya que cada miembro de la organización incrementa el control sobre sus acciones, creando así posibilidades de adaptarse mejor a cambios por venir.

En los últimos años las organizaciones se han visto presionadas a incrementar su productividad, para lograrlo, en el marco de la globalización han decidido utilizar recursos externos e internos para reducir costos y construir nuevas oportunidades (Mahmoodzadeh et al., 2009). La tercerización es el acto de transferir algunas de las actividades internas y derechos de decisión a proveedores externos (Ghodeswar & Vaidyanathan, 2008), de ella existen tres tipos: de manufactura, de servicios tecnológicos y de procesos de negocio. Este último se conoce BPO [*Business Process Outsourcing*] o tercerización de procesos de negocio (Mahmoodzadeh et al., 2009).

Aunque la tercerización ha mostrado beneficios importantes para las empresas, principalmente en términos de reducción de costos, también se han identificado algunos riesgos asociados a esta estrategia organizacional, tales como la reducción de la calidad de los productos o servicios, algunos problemas

de seguridad de la información y la pérdida del conocimiento interno del proceso mismo (Mahmoodzadeh et al., Yazdi, 2009).

Habiendo dicho lo anterior y teniendo en cuenta el contexto de la tercerización en las organizaciones se debe tener presente de que existen riesgos asociados a esta estrategia organizacional que deben ser analizados desde la gerencia, uno de ellos es la continuidad de los procesos. Por esta razón, dentro de los planes de contingencia debe contemplarse que los procesos entregados a terceros puedan, en cualquier momento, regresar y ser realizados directamente por la empresa. Es acá donde es muy importante la gestión del conocimiento y el capital intelectual.

Por otra parte, la gestión del conocimiento permite incrementar los controles operacionales sobre el tercero. Al conocer el proceso, aunque no se intervenga directamente en él, es posible controlarlo más eficientemente y asegurar un mejor servicio al cliente –interno o externo, dependiendo del proceso–. Esto representa una mejor inversión de los recursos intelectuales, al pasar de invertir tiempo en controlar a invertir tiempo en buscar mejoras en la organización, se conforma un círculo positivo.

En resumen, a través de la teoría de gestión del conocimiento y capital intelectual se pueden identificar beneficios significativos en organizaciones bajo procesos de tercerización. Una estrategia encaminada a gestionar correctamente los conocimientos organizacionales, individuales y colectivos incrementa el valor del capital intelectual y, por consiguiente, el valor agregado de la organización, a la vez que reduce los riesgos operativos y de continuidad del proceso.

La relación entre los tres conceptos –capital intelectual, gestión del conocimiento y tercerización–, pareciera no ser tan obvia, pero si se analiza considerando la búsqueda de agregar valor a los procesos, propia de la organizaciones, es más fácil comprender estas interrelaciones.

El capital intelectual pretende generar riqueza dentro de la organización depositando nuevos conocimientos y herramientas en ellas, que les permiten mantenerse en el tiempo y lograr sus objetivos e innovar constantemente sus productos, procesos y servicios, lo que contribuye de manera directa a la generación de valor organizacional. Es en este punto en el que la gestión del conocimiento cobra importancia, ya que es un proceso metodológico que logra o que busca clarificar las estrategias para crear, combinar, construir y

mejorar continuamente los conocimientos que se convertirán en nuevos activos intelectuales de la organización. Es clara la relación entre el capital intelectual y la gestión del conocimiento con los objetivos estratégicos organizacionales.

Por otra parte, la tercerización de procesos es una estrategia que busca agregar valor a la organización desde una perspectiva diferente, pero que impulsa la relación mencionada. Cuando una organización toma bajo esta figura de tercerización un proceso, implícitamente trae las mejores prácticas externas para ser implementadas dentro de la organización. Es acá en donde aparece nuevamente la gestión del conocimiento como herramienta importante para poder identificar e interiorizar los mejores conceptos del tercero y volverlos parte de los activos intelectuales organizacionales.

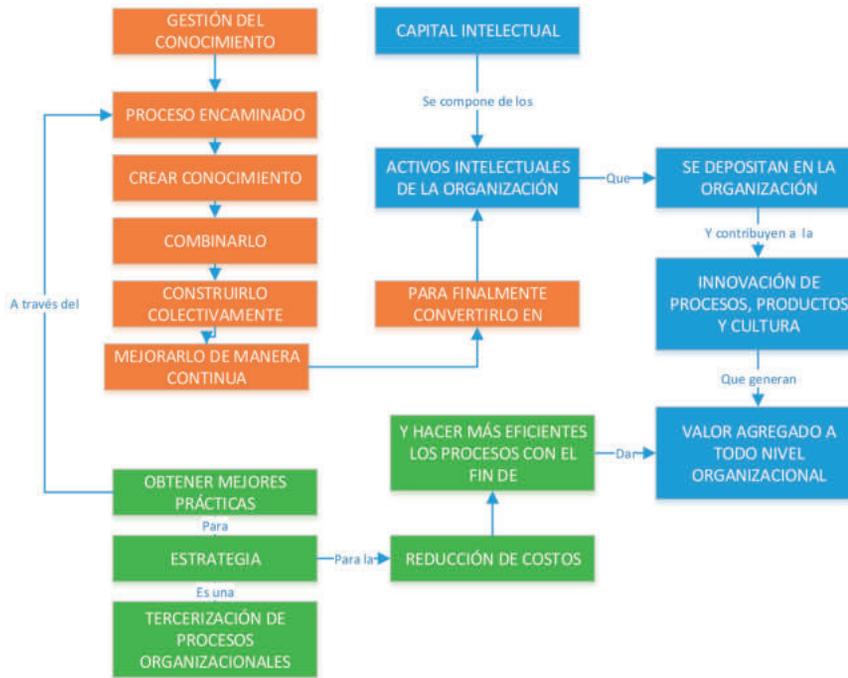
El tercero entonces, no solo debe agregar valor al reducir costos operacionales, sino que también la organización debe estar en capacidad de absorber el conocimiento que este le puede aportar. El capital intelectual, la gestión del conocimiento y las estrategias de tercerización de las organizaciones deben estar diseñadas y definidas de tal forma que las relaciones sean beneficiosas tanto para el tercero que presta sus servicios y recibe a cambio un pago por el mismo, como para la organización que contrata y, además de hacer más eficiente su organización, incrementa su capital intelectual. En la FIGURA 3 se muestra la relación entre gestión del conocimiento, capital intelectual y tercerización de procesos, encaminada a generar valor dentro de la organización.

## MARCO DE REFERENCIA

Sikdar y Payyazhi (2014) presentan un marco de referencia para administrar los cambios organizacionales de manera estructurada durante rediseños de flujos de trabajo, el cual consolida una base previa que permite realizar nuevas validaciones a partir del conocimiento que ya se tiene, y Stary (2014), esquemas de cómo las organizaciones hoy en día se adaptan a los cambios para incrementar su agilidad de administrar gran cantidad de datos, estableciendo así relaciones entre la información y los ciclos de la misma en los integrantes de las organizaciones para tomar decisiones.

Por su parte, Berente et al. (2009) muestran la relación y la importancia de la información dentro de la integración con los procesos de negocio, la que es descrita como fundamental en muchos de los esfuerzos de mejora de procesos de negocio y citada como la meta en implementaciones de tecnologías

## Diseño de un modelo de gestión del conocimiento para el área de logística de una empresa multinacional



**Figura 3. Relación de los conceptos del marco teórico**

de información, tales como la *Enterprise Resource Planning* [ERP], intercambios electrónicos de datos o la integración empresarial de aplicaciones. Definen además el concepto de integración de procesos como uno en el que los esfuerzos de asociados al flujo de la información entre actividades se minimiza, y describen a las prácticas para minimizar este esfuerzo como la integración de procesos. Estos conceptos son profundizados en procesos y flujos de información e integración de la información, definiendo tanto lo que es como lo que no es. Al final, mediante la aplicación de una encuesta en diferentes organizaciones, eligiendo procesos en particular, buscan comprender cómo es el flujo de la información y el estado de la integración de los procesos.

Por otra parte, en relación con el tema central de este trabajo, Sikdar y Payyazhi (2014) afirman que el BPM ha jugado un rol central en la creación de ventajas competitivas sostenibles y generan una correlación entre este y el éxito de las empresas. En su trabajo, temas como la reingeniería de procesos de negocio y la relación de ella con los sistemas informáticos y de tecnología son

relevantes, describen al BPM como una colección de actividades que tiene uno o más tipos de entrada y cuyos resultados generan valor para los clientes. Las metodologías, técnicas de modelamiento y la gestión de cambio del BPM, han hecho que este sea importante para la estrategia y la visión de las empresas. Cierran su trabajo conceptualizando sobre la gestión del cambio y presentando algunos casos de estudio aplicados.

Los trabajos reseñado describen la importancia del BPM en las organizaciones y lo contextualizan con el proceso de cambio en ellas. Por otro lado, se encontró que existe una clara relación entre el BPM y el capital social.

Llewellyn y Armistead (2000) presentan una conceptualizaciones del BPM y del capital social en los procesos de servicio, e identifican los componentes del capital social dentro del marco teórico dentro de tres dimensiones interrelacionadas: estructural, relacional y cognitiva y mencionan cómo investigaciones empíricas han demostrado que el capital social tiene una fuerte relación con los procesos organizacionales.

Stary (2014), por su parte, explica el importante rol de los repositorios de conocimiento [*Distributed Organizational Knowledge Base, DOKB*] en el procesamiento del conocimiento, definiéndolos como “una memoria viva de la organización”. Este investigador además explica las interrelaciones entre la gestión o el manejo del conocimiento dentro de la organización y los diferentes actores de procesos de negocio, lo que refuerza la importancia del conocimiento y su gestión, y la relación que tienen con los procesos organizacionales. Explica también cómo un actor de la organización que esté relacionado con procesos de negocio podría dar resultados importantes en términos de mejora de la organización si logra establecer un buen manejo tanto del conocimiento como de la información.

En resumen, estos últimos artículos muestran las relaciones directas y tangibles del BPM con los diferentes procesos organizacionales, las cuales le permiten proveer constantemente de valor agregado, lo que refuerza su importancia dentro de la organización, lo que se constituye en una base primordial para su elección en un proceso de mejora estructural. Cualquier mejora que se consiga a nivel del BPM repercutirá de manera tangible en los demás procesos organizacionales. Se evidencia entonces que la elección del BPS es acertada como base del diseño de un modelo de gestión del conocimiento que fácilmente pueda ser expandida al resto del área logística de la organización.

Algunos de los artículos revisados se enfocaban en establecer los límites en la gestión del conocimiento como parte importante dentro de la conceptualización de la gestión del conocimiento en las organizaciones.

A juicio de Werr et al. (2009), los gerentes adquieren conocimiento a través de sus relaciones con entes externos a la organización y traen ese conocimiento y lo aplican dentro de los procesos que administran. Define un límite como la demarcación de similitud y diferencia que separa a los individuos en una relación y al mismo tiempo lo une delimitando una relación frente a las demás, y, a partir de esta definición. Establecen además que existen dos tipos de límites organizacionales: mentales/de conocimiento y sociales, y concluyen que el aprendizaje y la adquisición del conocimiento en las organizaciones están influenciados por la forma en que los actores en estas relaciones construyan sus límites mentales y sociales entre y alrededor de ellos mismos y el otro.

Paraponaris y Sigal (2015) se enfocan en los acercamientos que ha tenido la transferencia del conocimiento y definen la evolución del concepto de transferencia del conocimiento hacia su límite. Dirigen entonces su trabajo hacia el conocimiento y los límites, describen la dificultad que implica su construcción e identifican tres tipos de dificultades en el proceso de transferencia, a saber: el tiempo y el costo que conlleva identificar el conocimiento relevante dentro de la organización; la dificultad de transmitir el conocimiento; y los obstáculos que se pueden presentar cuando las diferencias culturales son demasiado grandes.

Paraponaris y Sigal también conceptualizan los límites del conocimiento en sus principales características, en su construcción y en la modelación del conocimiento y, a modo de resumen, sentencian que los conceptos y estudios de transferencia del conocimiento deben centrarse en el concepto del límite del conocimiento. Destacan además que la gestión del conocimiento, por sí misma, debe estar enfocada en cómo los límites dentro y fuera de las organizaciones se establecen y se cruzan para generar y transmitir el conocimiento, pues desde su perspectiva, las personas que dentro de la organización no logren trascender esos límites no lograrán obtener ni brindar beneficios a la organización.

Este último es otro aspecto importante a considerar para el cargo piloto del BPS, ya que debe convivir con los límites del conocimiento en su día a día, una función que dentro de la organización, al estar en un área transversal, más allá de la operatividad diaria, enfrenta o construye límites tanto mentales como sociales dentro de la organización, por lo que la definición del modelo

de gestión del conocimiento debe estar enmarcado dentro de los límites del conocimiento y en cómo trascenderlos de manera adecuada.

Finalmente, Kambil (2009) brinda una perspectiva de nuevos enfoques en la gestión del conocimiento: pasar de tener un conocimiento digitalizado a ser una “nube de conocimiento”; involucrar los conceptos de calificaciones del conocimiento, tal como se realiza en una red social; integrar la gestión del conocimiento a sistemas de soporte de decisiones organizacionales; y reconocer que cualquiera puede ser un gestor del conocimiento tanto dentro como fuera de los límites organizacionales, creando de esta forma un conocimiento generalizado y colectivo en el que “nosotros somos más inteligentes que yo”. En este trabajo es claro que se pueden identificar tendencias que son o serán muy probablemente las siguientes “olas” de la gestión del conocimiento, por lo que de alguna forma deben ser tenidas en cuenta para desarrollar o adoptar un modelo de gestión de conocimiento novedoso y de vanguardia.

Con lo descrito en esta sección, se cuenta con: información relacionada con la gestión del conocimiento y su relación con las organizaciones, los actores principales y la importancia de los procesos de negocio; las características de la transferencia del conocimiento a través de la construcción de los límites; y las nuevas tendencias que determinarán un nuevo rumbo en la gestión del conocimiento. En cuanto a los modelos de gestión, hay dos que se destacan en la revisión realizada: el de Nonaka y Takeuchi (1999) y el de Lytras (2002). Ambos se discuten a continuación.

Nonaka y Takeuchi centralizan su modelo de gestión de conocimiento en la relación del conocimiento tácito y explícito a todo nivel de la organización e introducen cuatro formas de creación de conocimiento bajo la premisa de que esa creación es producto de la interacción entre los conocimientos tácito y explícito, como es explícita en la TABLA 2.

Nonaka y Takeuchi (1999) introducen además el concepto de espiral del conocimiento, el cual indica que la creación del conocimiento debe cumplir un ciclo que va desde socializarlo, pasa por exteriorizarlo y combinarlo, hasta finalmente interiorizarlo haciéndolo. Este ciclo, expresan los autores, se debe repetir las veces que sea necesario, hasta lograr que el conocimiento sea actualizado y compartido a todo nivel de la organización.

Lytras (2002) por su parte presenta un marco de referencia más amplio sobre cómo la gestión del conocimiento agrega valor. Se basa igualmente en un

**Tabla 2. Formas de creación de conocimiento (Nonaka & Takeuchi, 1999)**

Tipo	Interacción	Descripción
Socialización	Tácito a tácito	Se comparten experiencias o se observa a los expertos conocedores en temas específicos, de tal forma que se construye conocimiento en los demás.
Exteriorización	Tácito a explícito	Enunciación de conocimiento en forma de conceptos explícitos, tales como modelos, analogías y metáforas.
Combinación	Explícito a explícito	Proceso en cual diferentes conceptos generan un sistema de conocimientos, para lo que se deben combinar diferentes medios de expresión de conocimientos para así, en conjunto, llegar a un consenso combinado.
Interiorización	Explícito a tácito	Relacionado directamente con los procesos en donde el conocimiento se construye a partir de la experiencia, de aprender haciendo.

ciclo que incluye el relacionamiento o valoración inicial del conocimiento; su adquisición, organización y almacenamiento; la habilitación de su utilización y reutilización; su transferencia y su uso constante. Cabe mencionar que esta es la base del modelo propuesto (ver siguiente sección), debido a que se trata de un ciclo con una metodología específica que implica cumplir cada uno de los pasos.

Este autor además muestra un aspecto muy importante en los modelos organizacionales para las situaciones actual y futura de la compañía. Es claro que cada vez los procesos serán más virtuales, menos presenciales, por lo que el e-learning o aprendizaje virtual se muestra como una alternativa válida dentro de algunos parámetros que se deben cumplir para hacer eficiente y eficaz la comunicación y la creación del conocimiento.

En este modelo o marco de referencia, actores externos e internos de la organización se congregan para realizar procesos dinámicos de gestión del conocimiento; solo para enunciar algunos, expertos en procesos, fundamentos científicos y fuentes externas de conocimiento se alimentan de almacenes de información en funcionalidades dinámicas para crear competencias organizacionales y pedagógicas que al final cumplen con el objetivo pactado: agregar valor a través del conocimiento organizacional. Es un modelo que se separa del aprendizaje virtual tradicional de una sola vía.

## MODELO PROPUESTO

Como se indicó, en la revisión preliminar de estado de la gestión del conocimiento en el área de OTC de la empresa no se identificó ningún modelo implementado, de hecho, los procedimientos operacionales que son utilizados por el BPO son propiedad intelectual del tercero. En el marco de la negociación que se realizó para la implementación del proyecto de tercerización se definió que al ser una herramienta de trabajo del BPO, estos iban a ser realizados por él, con base en los procedimientos actuales de la compañía. En resumen, tomaron el conocimiento implícito de la organización y lo convirtieron en explícito, para ser usado como herramienta de trabajo. Se perdieron en este proceso los demás conocimientos implícitos, entre ellos el cómo supervisar o controlar la operación desde el rol de líderes operativos y responsables por el seguimiento al contrato.

Es ahí donde se abre una brecha entre el conocimiento implícito, el capital intelectual de la organización y el conocimiento explícito, imprescindible para generar valor a la operación del área. No se logró identificar procedimientos escritos, sistemas de administración de los mismos y mucho menos de cómo mejorarlo continuamente en el tiempo. Esto sumado a la rotación natural del área constituyen una excelente oportunidad para el diseño e implementación de un modelo de gestión del conocimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior el modelo consolidado se centra en resaltar los aspectos más relevantes respecto de la creación, distribución y actualización constante del conocimiento dentro de la organización. Como primera restricción, basada en la experiencia, el modelo se deberá enfocar en un proceso específico, para que de esta forma y de manera integral se pueda enlazar con los demás componentes organizacionales. Una de las áreas más influyentes dentro de la nueva organización es la del BPS, un área transversal a la organización que ha sido creada recientemente. Este modelo deberá estar acorde con la definición específica de las áreas de la compañía, la cual establece límites específicos para la responsabilidad y el cumplimiento de las tareas.

En primer lugar, y luego de elegir el proceso o área funcional a incluir en el flujo completo de la gestión del conocimiento, se deben cumplir con los siguientes componentes, aspectos y pasos a realizar:

#### **DEFINICIÓN DE LA TOTALIDAD DE COMPONENTES DE CONOCIMIENTO DEL PROCESO**

Este primer paso tiene como finalidad hacer la primera externalización básica del conocimiento. Se espera que con el transcurso del tiempo este listado inicial tenga cambios, que se amplíe o se reduzca.

#### **ESTABLECIMIENTO DE UN JUICIO DE EXPERTOS EN EL CONOCIMIENTO**

Paralelo a la consolidación de los componentes de conocimiento se debe definir quiénes comprenderán el juicio de expertos del conocimiento funcional. Esta es una tarea de la alta gerencia, la cual también podría estar directamente involucrada. Este juicio de expertos debe estar compuesto por las personas con mayor conocimiento del tema, ya sea por su experiencia o por su rol actual.

#### **JUICIOS DE VALOR DEL CONOCIMIENTO**

Cubierto los pasos anteriores, es indispensable realizar los primeros filtros que permitan clasificar por pertinencia cada uno de los elementos del conocimiento. Esto se debe realizar para priorizar en los siguientes pasos del modelo de gestión del conocimiento. La priorización se basa en la premisa de que cualquier inversión de tiempo es una inversión de capital, principio fundamental de la organización. Es por esto por lo que un juicio de expertos definirá la priorización que tendrá en adelante cada uno de los elementos enunciados en la primera etapa del modelo.

#### **DEFINICIÓN DE PLANES DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO**

La organización debe definir cuáles son los medios que utilizará tanto para extraer el conocimiento tácito como para volverlo explícito. En este punto es indispensable definir por experiencia propia o por sugerencia de expertos, cuáles serán específicamente los materiales que deben ser utilizados. Pueden ser videos, figuras, diagramas de flujo, procedimientos, grabaciones e incluso talleres de realización de actividades específicas. Es importante definir bien estos medios ya que la actualización de los mismos y la manera en que se comparten con todos los miembros de la organización influirá también en los costos y estos deberán estar muy bien sustentados en términos del retorno operacional medido en términos del capital intelectual obtenido en el ejercicio cíclico.

#### **ADQUISICIÓN PURA DE CONOCIMIENTO**

En este aspecto no solo se requiere tener un plan, una priorización y unos medios definidos, sino que ya se materializa una inversión de tiempo –que a su vez es dinero–. Para esto se requiere definir actores directos responsables por traducir o explicitar el conocimiento específico. Los métodos, como la escritura paso a paso o la grabación de sesiones de aprendizaje, no solo son muy útiles en el modelo a seguir, sino que además se convierten en los primeros entregables para la organización. En muchas ocasiones las organizaciones ni siquiera cuentan con un modelo organizacional enfocado en los sistemas integrados por lo que carecen de manuales o procedimientos operativos.

#### **FILTROS INICIALES DE CONOCIMIENTO Y POSTERIOR ALMACENAMIENTO**

Los filtros en este proceso son importantes en la medida en que incrementan la calidad de la información. Estos filtros de calidad deben ser realizados por expertos en las áreas funcionales para después clasificar de manera correcta y almacenar para futuras consultas. Es un aspecto importante definir también métodos y medios claros para poder acceder a la información en el momento en que se requiera. Y este precisamente es uno de los aspectos principales para agregar valor al conocimiento adquirido a través de interacciones constantes.

#### **TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO E INTEGRACIÓN A LAS LABORES**

En la etapa final del proceso de gestión del conocimiento cada uno de los elementos del conocimiento se convierte en parte de los elementos de transformación de las organizaciones, vitales para incrementar la eficiencia, reducir los errores, divulgar las buenas prácticas e incluso mantener los procedimientos mínimos y básicos en las organizaciones. En muchas ocasiones las personas son quienes tienen y atesoran el conocimiento, lo que en parte ocurre porque el conocimiento tácito es y será exclusivo de cada persona. Las organizaciones deben velar, no solo por extraerlo, sino, sobre todo, por convertirlo en parte fundamental de su cultura organizacional.

Una vez que se han completado estos pasos, es necesario uno adicional, que de manera iterativa cuestiona si se tiene identificado y explicitado el total de los conocimientos de la organización. Este último paso es importante porque es el responsable de que constantemente se construya y continuamente se mejore el conocimiento.

Cualquier cambio en las formas de trabajo, por más mínimo que sea, debe estar involucrado en el modelo de gestión del conocimiento y entregado a la organización como valor agregado. En la FIGURA 4 se muestra la integración de los siete pasos propuestos en el modelo de gestión del conocimiento y el proceso iterativo de su validación.

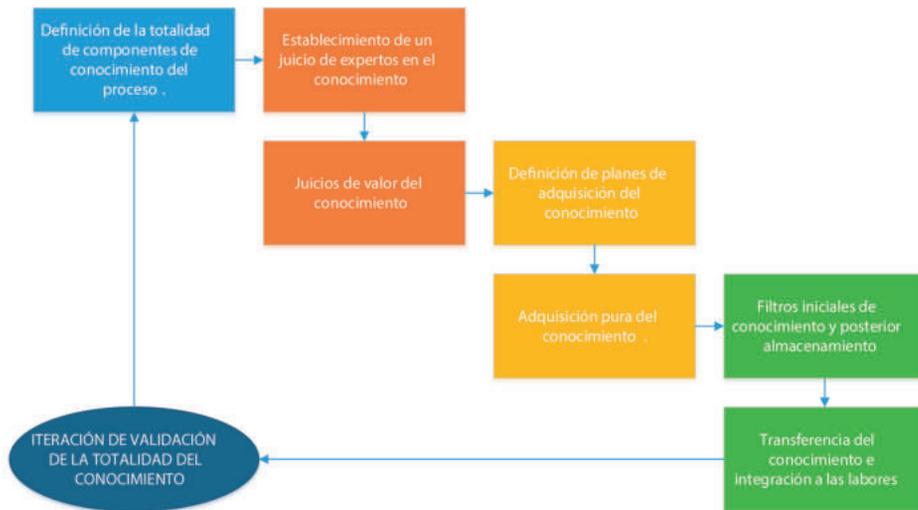
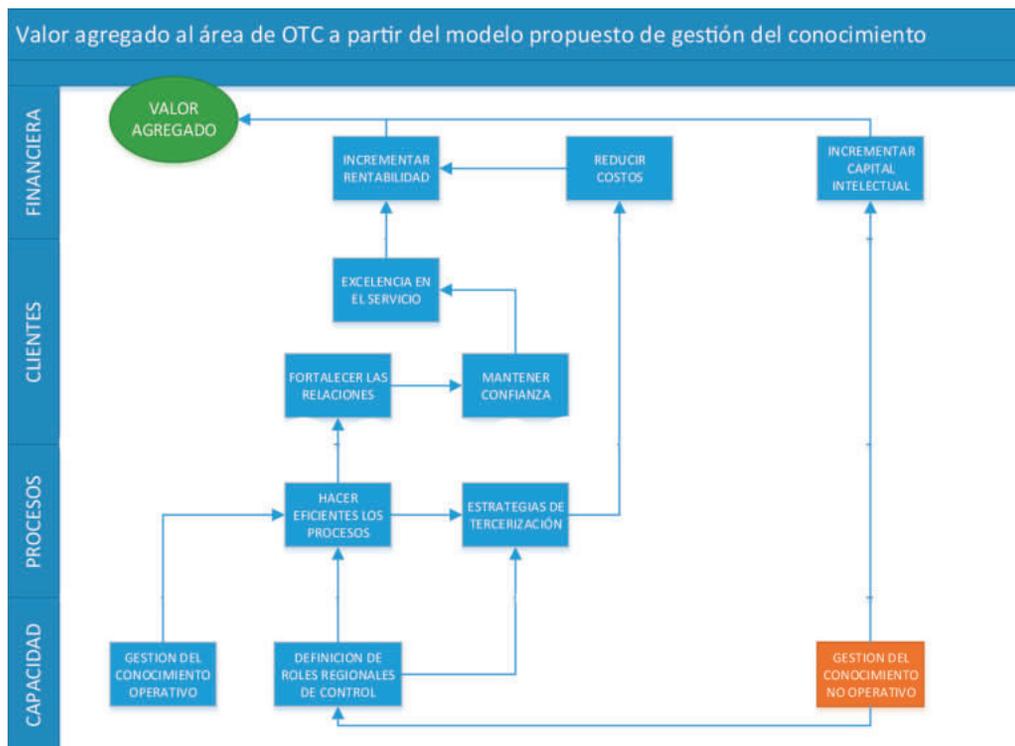


Figura 4. Integración del modelo propuesto

Este modelo está directamente relacionado con la estrategia de la organización porque llena el vacío dejado por el enfoque que se dio al tercero dentro de la administración del conocimiento operacional. Tomando como base la definición del área como servicio al cliente y logística, se podría entender como valor agregado cualquier proceso que pretenda hacer más eficientes los procesos operativos y administrativos que conlleven a entregar lo que los clientes requieren, al menor costo posible, específicamente a incrementar la rentabilidad de la compañía y su capital. Esta relación se convierte entonces en uno de los aspectos más relevantes que refuerzan la necesidad de definir un modelo integración con la estrategia organizacional del área.

Esto se explica desde las interrelaciones que tienen los procesos y modelos actuales con el resto de la organización, teniendo como fin máximo dar valor agregado. En primer lugar, tener definido el modelo operativo, mediante el

cual un tercero adquiere el conocimiento y lo pone en práctica para suplir una necesidad organizacional, permite hacer procesos más eficientes, lo cual, a su vez fortalece las relaciones con los clientes externos y soporta la estrategia de tercerización. Esta última, como se recuerda, tiene como principal fin la reducción de costos operativos, lo que impacta favorablemente la rentabilidad, sin que ello signifique sacrificar la excelencia en el servicio al cliente. De la misma manera, poder, a través de un modelo de gestión de conocimiento administrar la otra rama del mismo, el conocimiento no operativo, impacta de manera directa a la estrategia regional de control, hace más eficientes los procesos e indirectamente contribuye al incremento de la rentabilidad por la vía de la excelencia en el servicio. Asimismo, como se ha discutido, otra forma de agregar valor a la organización es a través de la generación de capital intelectual, un resultado innegable de la gestión del conocimiento no operativo administrado por la organización. En la FIGURA 5 se muestran las



**Figura 5. Valor agregado al área de OTC a partir del modelo propuesto de gestión del conocimiento**

relaciones de los procesos del área basados específicamente en la capacidad de la organización (o del área específicamente) para gestionar el conocimiento operativo (estrategia de tercerización), el no operativo y la definición de roles regionales que permean a los procesos transversales.

Un análisis tipo scorecard permite interrelacionar desde la base de las capacidades organizacionales las diferentes estrategias que resultan en agregar valor a la organización. Específicamente enfocado a la gestión del conocimiento, este tiene una línea directa con el valor agregado a la organización porque incrementa el capital intelectual; es decir, a través de la implementación de un modelo de gestión del conocimiento –que hoy se conoce como el no operativo–, tendrá un efecto inmediato y positivo en la organización. A su vez, este es la base de la capacidad regional de control sobre el resto de los procesos operativos. Si bien el BPO administra el conocimiento operativo, para poder soportar las diferentes estrategias organizacionales es necesario tener como fortaleza unos controles específicos mejorados (mejores prácticas aplicables) y sustentables. El incremento en la rentabilidad que agrega valor a la organización se fundamenta en la gestión del conocimiento propio y del tercero y en los controles operacionales implementados en los procesos específicos del área.

A partir de lo anterior se refuerza la necesidad de tener un proceso de gestión del conocimiento dentro de la organización, enfocado, no solo a tener procesos y conocimientos en constante iteración y mejoramiento, sino en incrementar la rentabilidad de la empresa y su capital intelectual. Quizá hasta el momento la organización no ha realizado los esfuerzos necesarios para tener implementado un proceso estructurado, lo cual se podría explicar porque de manera informal se realizan y gestionan los procesos y el resultado prima sobre el resto de la planeación. Pero como se ha demostrado durante esta investigación, la gestión del conocimiento debe ser incluso base de la estrategia organizacional para trascender en el tiempo.

Por otro lado, con base en la historia cercana de la organización, estas estrategias pueden ser modificadas en cualquier momento. Para la muestra, hace menos de dos años la operación era manejada al 100% por integrantes de la organización y ahora solo participa un 50% de ellos; en unos años este porcentaje puede ser mayor o menor, pero lo que no va a cambiar en el tiempo es el conocimiento que se pueda adquirir, pues él va a ser el soporte de cualquier estrategia organizacional.

Con la aplicación del modelo de siete pasos, el BPS cobra importancia, sin importar su corta trayectoria, ya que es vista dentro de la organización como la que define los parámetros operativos y no operativos de los procesos. Está enmarcada dentro del seguimiento a los controles operacionales, pero a la vez en que los contratos se cumplan de acuerdo con lo establecido con el tercero. Por esta razón, y teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que implementar en esta muestra el modelo de gestión del conocimiento será suficiente para que la misma sinergia organizacional pueda generar el cambio esperado, es decir, no existe una mejor muestra que la misma área puntual.

La situación actual sobre la gestión del conocimiento es la base para definir los planes específicos requeridos para llegar a una aplicación del modelo. Un aspecto importante que no se mencionó, pero que es vital para que el modelo pueda salir adelante en las organizaciones, es la intención de la gerencia por su implementación. Esto porque el modelo en sí requiere inversión, entonces uno de los principales factores de éxito es que cuente con el apoyo necesario para salir adelante.

En la TABLA 3 se muestra un cuestionario inicial de establecimiento de la situación actual versus lo esperado que puede ser aplicado a cualquier proceso, organización o área funcional y tiene como objetivo ponderar cuantitativamente el esfuerzo que requeriría la implementación del modelo propuesto. A cada pregunta se le asigna un valor de 1 si la respuesta es afirmativa y de 0 si es negativa. No se tiene una tabla específica de porcentaje en el cual un proceso está más propenso a adoptar el modelo, pero de alguna manera ponerlo en números muestra un grado de madurez de la organización para su implementación. En la TABLA 4 se presentan los resultados de la aplicación de este instrumento en la empresa.

**Tabla 3. Valoración del modelo vs situación actual**

Aspecto	Ítem a validar	Status
0. Aplicabilidad del modelo	Dentro de la agenda de temas importantes para la gerencia está la gestión del conocimiento	
	Existen o se pueden destinar recursos específicos a la gestión del conocimiento dentro de la organización	
1. Definición de la totalidad de componentes de conocimiento del proceso	Se cuenta con un listado de los principales procesos organizacionales del área	
	Se cuenta con un listado detallado de los procesos específicos del área	

## Diseño de un modelo de gestión del conocimiento para el área de logística de una empresa multinacional

**Tabla 3. Valoración del modelo vs situación actual (continuación)**

Aspecto	Criterio	Estado
1. Definición de la totalidad de componentes de conocimiento del proceso (cont.)	Existe un modelo de definición de funciones por cada puesto de trabajo	
	Se cuenta con áreas funcionales expertas en temas específicos de la organización	
2. Establecimiento de un juicio de expertos en el conocimiento	Existen expertos en las áreas o temas de conocimiento a tratar	
	Son suficientes para poder debatir o discutir un punto de vista relacionado con el tema en cuestión	
	Los expertos estarían dispuestos a involucrarse de manera activa en las discusiones de gestión del conocimiento que se lleven a cabo	
3. Juicios de valor del conocimiento	Existen formas o medios para realizar juicios de conocimiento	
	Las personas involucradas son suficientemente objetivos para plantear sus puntos de vista	
	Las influencias –externas e internas– no logran afectar la objetividad de los juicios.	
4. Definición de planes de adquisición del conocimiento	Existe un método definido para obtener el conocimiento	
	Si no existieran, la compañía está dispuesta a realizar inversiones (pequeñas o grandes) debidamente justificadas para acceder a tecnologías o conocimiento externo para adquirir conocimiento interno	
	Se han utilizado en el pasado medios de adquisición del conocimiento, algunos incluso se almacenan	
5. Adquisición pura del conocimiento	Se tiene el conocimiento específico sobre cómo documentar por los medios definidos por la organización	
	La organización está dispuesta a invertir tiempo y dinero para fomentar espacios de adquisición del conocimiento (esto implicaría tiempo de consolidar, reunir personas, etc.).	
6. Filtros iniciales de conocimiento y posterior almacenamiento	Culturalmente la organización tiene interés en comunicar constantemente temas comunes	
	Son suficientemente objetivos los expertos en los diferentes temas como para confiar en que los filtros realizados sean los adecuados.	
7. Transferencia del conocimiento e integración a las labores	La cultura organizacional permite que los procesos de gestión de conocimiento se integran en las labores operativas	
	Se ha tenido alguna experiencia previa en la cual un modelo de gestión del conocimiento haya agregado valor	

**Tabla 4. Hallazgos**

Aspecto	Puntos posibles	Puntos obtenidos	Cumplimiento (%)
0. Aplicabilidad del modelo	2	2	100
1. Definición de la totalidad de componentes de conocimiento del proceso	4	4	100
2. Establecimiento de un juicio de expertos en el conocimiento	3	1	33
3. Juicios de valor del conocimiento	3	2	67
4. Definición de planes de adquisición del conocimiento	3	2	67
5. Adquisición pura del conocimiento	2	1	50
6. Filtros iniciales de conocimiento y posterior almacenamiento	2	1	50
7. Transferencia del conocimiento e integración a las labores	2	2	100

El perfil de madurez general de 71% que muestra la TABLA 4 permite concluir que las áreas del modelo que deberán tener planes más específicos están relacionadas con los expertos dentro de la organización para juzgar el valor del conocimiento que pueda generarse durante el proceso. Esto no es un secreto para la organización ya que al ser un área relativamente nueva, muchos de los procesos se han ido construyendo por la misma área sin tener relación con las demás.

Por otro lado, una de las funciones del área es consolidar las mejores prácticas o implementar proyectos que impacten diferentes procesos transversales dentro de la organización, por lo que es una funcionalidad natural del área poder generar nuevo conocimiento o consolidarlo. Esta función en la actualidad se realiza de manera implícita –es conocimiento tácito, en términos de gestión del conocimiento–, en ejemplo de ello es que las diversas actividades, como el seguimiento a las tareas operativas, implican un entendimiento organizacional que va más allá de los diagramas funcionales o jerárquicos; un proyecto, en muchas ocasiones, requiere de influenciar en los demás identificando líderes naturales en cada proceso. Por lo anterior y entendiendo los resultados del cuestionario, se deberá enfocar un plan de acción con tareas específicas a suplir las falencias evidenciadas. Estas son: establecimiento de un juicio de expertos en el conocimiento; adquisición pura del conocimiento; y filtros iniciales de conocimiento y posterior almacenamiento.

La propuesta específica de implementación contiene los elementos: macro actividades, tiempos estimado, recursos estimados y resultado esperado, agrupados en cuatro fases, como se puede observar en la TABLA 5.

**Tabla 5. Fases del plan de acción específico**

Fase	Actividades
Inicial	Acta de inicio de implementación del modelo
	Definición de los recursos necesarios para la implementación
	Definición de los costos de implementación del modelo
	Definición de factibilidad y viabilidad del modelo según criterio de la alta gerencia
De diseño	Preparación de listado inicial de componentes
	Reuniones con los integrantes primarios del modelo a implementar
	Establecimiento de los medios específicos a usar en la implementación del modelo
	Definición de métodos para realización de juicios de conocimiento
	Definición de medios de almacenamiento y métodos de adquirir conocimientos
	Definición de entregables por cada etapa del modelo
De implementación	Consolidación de los integrantes del juicio de expertos
	Materialización de los diferentes procesos operativos (videos, modelos, etc.)
	Definición y seguimiento a planes específicos de implementación
De control	Validación cíclica de las actividades definidas
	Medición de uso de los materiales generados y su posterior actualización

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Durante las fases de implementación se presentó un cambio sensible a nivel organizacional que impidió seguir adelante con la misma. La organización está cambiando de ser dirigida de manera regional a ser nuevamente local. Por lo anterior el área de BPS está siendo sujeta a una redefinición. En este orden de ideas los resultados obtenidos no pueden ser comparados con una implementación final del modelo propuesto.

La propuesta fue presentada a la gerencia y en su momento obtuvo su visto bueno para implementarse como piloto en la organización, pero luego de los cambios el proceso de implementación quedó por definirse. Sin embargo, a nivel general se pueden identificar algunas de las mejoras obtenidas a nivel operativo y los números de las actividades realizadas, así:

- Se identificaron más de 35 procesos específicos a nivel regional, un claro ejemplo de que muchos de los procesos y funciones que hoy en día se llevan en la organización están aún por definirse y formalizarse en procedimientos escritos. Este es el principal reto y falencia de las diferentes áreas, incluso posterior a los cambios organizacionales que se están llevando a cabo.
- Se posicionó a la gestión del conocimiento como uno de los principales integrantes del plan del área para el siguiente año, es decir, este modelo logró que se reconozca la importancia del tema en la organización y se incluya en su agenda de prioridades.
- Se realizaron más de quince documentos, entre audiovisuales, documentos operativos y procedimientos, que quedan como base inicial para la finalización del modelo definido; esto es un gran logro si se recuerda que previo a la implementación se identificó que no se contaba con ningún procedimiento establecido de manera formal.
- Se generaron oportunidades para mostrar nuevos talentos organizacionales que se identificaron en la fase inicial entre quienes brindaron soporte específico de gran aporte para el área. Esto implica que algunos procesos que antes no parecían importantes cobren la validez que se merecen.
- Se redujo la generación de incidentes o notificaciones de fallas en algunos procesos operativos. Al iniciar con la revisión de los procesos, se evidenció cómo, en las mismas sesiones de adquisición del conocimiento, el conocimiento tácito de muchas de las personas mejoró sustancialmente. Haciendo un símil con un proceso productivo, en el proceso de interacción se redujeron los problemas de calidad en la ejecución, solo con el hecho de iniciar la implementación del modelo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La gestión del conocimiento es un elemento que agrega valor a los procesos operativos y administrativos de las organizaciones y soporta cualquier estrategia operativa/administrativa definida dentro de las mismas. Por tanto, se le debe dar mayor importancia a desarrollar modelos organizacionales que permitan explotar todo el potencial que tiene la gestión del conocimiento para incrementar el valor de este capital.

La empresa logró evidenciar que el modelo de gestión de conocimiento propuesto es factible y viable y comprender que si logra implementarlo seguirá

trayendo muchos beneficios a esta organización. Por lo tanto, La gestión del conocimiento debe estar dentro de sus planes estratégicos (y en los de cualquier organización), más aún al tener estrategias de tercerización. Se recomienda:

- seguir adelante con la implementación del modelo, ya se tiene definido el proceso y una vez la organización decida cómo será la administración local y regional, debería finalizar lo ya iniciado;
- multiplicar el modelo dentro de la organización, replicarlo en otras áreas y otras regiones tomando como base la implementación definida, dándole así a la gestión del conocimiento la importancia que merece dentro de la organización; y
- cerrar todas las fases definidas para este caso en particular, para así poder llevarlas a las demás áreas de la organización, pues en muchas ocasiones, solo con un ejemplo claro de que este tipo de modelos es viable y agrega valor a la organización es factible su réplica.

Como trabajos de investigación a futuro se identificaron:

- la lineación de modelos de gestión del conocimiento de logística en diferentes organizaciones;
- el estado del arte del BPS en el ámbito local;
- la medición de la gestión del conocimiento en el capital intelectual de compañías similares; y
- la gestión del conocimiento dentro de ámbitos regionales.

## **REFERENCIAS**

- Alvarado, E. (2018). *Diseño de un modelo de gestión del conocimiento para el área de logística de la empresa XYZ* [tesis de maestría, Universidad Icesi]. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/84786/1/T01700.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/84786/1/T01700.pdf)
- Berente, N., Vandenbosch, B., & Aubert, B. (2009). Information flows and business process integration. *Business Process Management Journal*, 15(1), 119-141.
- Brooking, A., & Guix, J. (1997). *El capital intelectual: el principal activo de las empresas del tercer milenio*. Paidós.
- Ghodeswar, B. & Vaidyanathan, J. (2008). Business process outsourcing: An approach to gain access to world-class capabilities. *Business Process Management Journal*, 14(1), 23-38.
- Grant, R. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17(S2), 109-122.

- Kambil, A. (2009). Obliterate knowledge management: Everyone is a knowledge manager! *Journal of Business Strategy*, 30(6), 66-68.
- Llewellyn, N. & Armistead, C. (2000). Business process management. *International Journal of Service Industry Management*, 11(3), 225-243.
- Lytras, M. D. (2002). Knowledge management convergence – expanding learning frontiers. *Journal of Knowledge Management*, 6(1), 40–51.
- Mahmoodzadeh, E., Jalalinia, S., & Nekui-Yazdi, F. (6 de 11 de 2009). A business process outsourcing framework based on business process management and knowledge management. *Business Process Management Journal*, 15(6), 845-864.
- Marín, H. (2005). *Gestión del conocimiento, capital intelectual, comunicación y cultura*. Autor.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1999). *La organización creadora del conocimiento: cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación*. Oxford University Press.
- Paraponaris, C. & Sigal, M. (2015). From knowledge to knowing, from boundaries to boundary construction. *Journal of Knowledge Management*, 19(5), 881-899.
- Pérez, A., Ruiz, I., & Sabella, M. (2005). *Gestión del conocimiento: un nuevo enfoque aplicable a las organizaciones y la universidad*. Norma.
- Pérez-Montoro, M. (2008). *Gestión del conocimiento en las organizaciones fundamentos, metodología y praxis*. Trea.
- Sikdar, A. & Payyazhi, J. (2014). A process model of managing organizational change during business process redesign. *Business Process Management Journal*, 20(6), 971-998.
- Stary, C. (2014). Non-disruptive knowledge and business processing in knowledge life cycles – aligning value network analysis to process management. *Journal of Knowledge Management*, 18(4), 651-686.
- Werr, A., Blomberg, J., & Löwstedt, J. (2009). Gaining external knowledge – boundaries in managers' knowledge relations. *Journal of Knowledge Management*, 13(6), 448-463.

# PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA FORESTAL

Hernando Augusto García Ovalle, MSc.

Juan Carlos Garzón Osorio, Ph.D

## **Citación**

García, H. & Garzón, J. C. (2020). Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 6, *Gestión de inventarios - Gestión del conocimiento - Gestión de mantenimiento* (pp. 113-170. Universidad Icesi.



---

## RESUMEN

---

Esta investigación se realizó en una empresa industrial y se enfocó en la unidad de mantenimiento de la división interna encargada de proveer buena parte de la materia prima para su proceso industrial: la división forestal. Su producto final es una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de la división que mejore su disponibilidad, disminuya las intervenciones de mantenimiento correctivo y reduzca los tiempos improductivos, de tal manera que pueda lograr sus metas de abastecimiento de materia prima a la planta y contribuir así a la generación de ganancias. La investigación contempla tres objetivos; determinar el estado actual de la gestión de los equipos de la división; analizar el estado de la gestión del mantenimiento de la división y compararla con los modelos teóricos de gestión de mantenimiento; y elaborar la propuesta citada. La metodología empleada por el incluye tres fases: diseño, trabajo de campo y análisis y conclusiones. El análisis del producto final permite concluir que la propuesta para la gestión de mantenimiento es un camino viable para los propósitos declarados.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación se enmarca en el área de la gestión de mantenimiento y tiene como objetivo mejorar las actividades rutinarias que realizan los departamentos a su cargo en las empresas. Los departamentos de mantenimiento han ganado participación en todos los tipos de industria, aunque en muchos sectores, muy lentamente.

La investigación se realizó a través del método de caso y fue aplicado a la unidad de mantenimiento de la división forestal de una empresa. Como resultado se formuló una propuesta para la gestión del mantenimiento en los equipos de dicha división, algo crítico si se considera que ella es la responsable de la provisión de buena parte de la materia prima de un proceso industrial. La expectativa es reducir el tiempo consumido por paradas no programadas, disminuir los costos de mantenimiento, incrementar la disponibilidad de los equipos y optimizar su ciclo de vida.

La metodología del proyecto está dividida en tres fases: diseño, trabajo de campo y análisis y conclusiones, cada una de ellas tiene una secuencia de ejecución de actividades y cumple un papel importante en la construcción de la propuesta para la gestión del mantenimiento.

Las características encontradas en este caso de estudio son: falta de definición de políticas, estrategias y objetivos del área de mantenimiento; desconocimiento del análisis de causas raíz e impacto de los equipos en la línea de producción; planes de mantenimiento poco profundos para los equipos; deficiencia en la evaluación y el control del mantenimiento; y escasa gestión del recurso humano. Lo anterior arroja como resultados: baja disponibilidad mecánica de los equipos, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos. Esta investigación obedece al interés de conocer la causa de los problemas citados, pues no se ve una tendencia a la mejora, y por la necesidad de prepararse para responder a la expectativa de mayores necesidades de materia prima.

La división forestal de la empresa se encarga de suministrar la materia prima virgen a su sistema productivo (fibra de pino y eucalipto), su campo de acción son los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y Cauca. La propuesta para la gestión de mantenimiento se enfocó en el proceso de gestión del mantenimiento al interior de la división denominada proceso

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

de mecanización, encargada de responder por la disponibilidad de los equipos utilizados en la operación forestal (cosecha mecanizada). En la FIGURA 1 se muestra el diagrama de flujo de la cosecha de una plantación con su proceso de valor correspondiente.

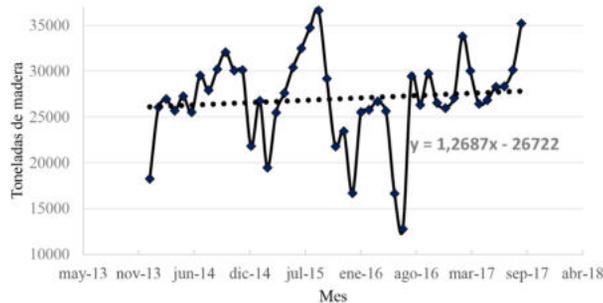


**Figura 1 Diagrama de flujo de la cosecha mecanizada**

Para realizar esta labor la división cuenta con los siguientes equipos forestales: un arrastrador de troncos, seis buldócer, diecinueve camiones, cuarenta y tres cargadores trineumáticos, cuatro excavadoras, diecisiete grúas, tres motoniveladoras, veintinueve torres de madereo, diez tractores cargadores y ocho *winches*, en total ciento cuarenta equipos.

En la industria se han realizado muchas tareas para el control de calidad y se necesita realizar avances significativos en productividad, en ello la gestión del mantenimiento representa una gran oportunidad (Cassady et al., 1998). Aunque se han realizado cambios en la manera de gestionar el mantenimiento, ellos se han planteado de forma aislada y no han sido analizados y evaluados de acuerdo con el contexto de la compañía. El departamento de mantenimiento requiere reducir los tiempos de paradas no programadas para aumentar la disponibilidad de los equipos (Exner et al., 2017).

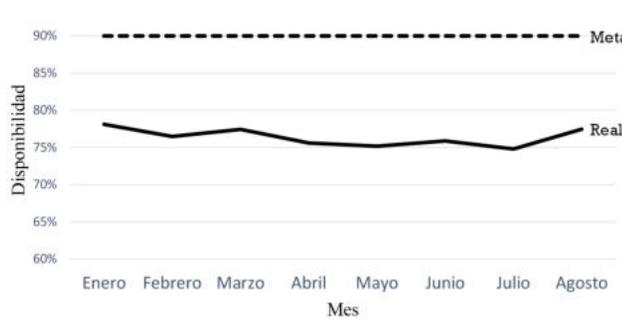
En la FIGURA 2 se puede observar la cantidad de madera en forma de troza (toneladas) que ha ingresado a la planta (localizada en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca) desde el segundo semestre de 2013 hasta el segundo semestre de 2017, y se puede inferir un crecimiento del 3 % anual en el futuro, lo que refuerza la necesidad de mejorar la disponibilidad de los equipos en el corto plazo.



**Figura 2 Entradas de materia prima para pulpa desde la zona sur a la planta en Yumbo**

El proceso de mecanización realiza la intervención técnica a los equipos en los sitios de cosecha a través de personal propio que se desplaza en camionetas; cuando se necesita apoyo técnico, se utilizan empresas contratistas para desarrollar los trabajos pendientes.

En la actualidad, la planeación y ejecución del mantenimiento se efectúa de manera informal, se aprovecha poco el software de la compañía; algunas intervenciones de mantenimiento lubricativo o preventivo se realizan de forma parcial con materiales incompletos o necesidades básicas de los equipos incumplidas, lo que genera la necesidad de establecer una propuesta para la gestión de mantenimiento de equipos que tenga una estrategia útil en la planeación, ejecución y control del mantenimiento. En la FIGURA 3 se presenta la tasa de disponibilidad de los equipos de la división durante 2017 y permite apreciar su distancia frente a la meta (90 %) que ha dispuesto la compañía.



**Figura 3 Disponibilidad de equipos**

De acuerdo con el crecimiento esperado de 3 % en la necesidad de suministro de materia prima a la planta y debido a que la disponibilidad de los equipos no presenta estabilidad ni tendencia a la mejora, se puede inferir que a futuro se pueden ocasionar pérdidas económicas por causa del incumplimiento de las necesidades de abastecimiento de materia prima. La baja disponibilidad mecánica, las altas intervenciones de mantenimiento correctivo y los tiempos improductivos justifican la necesidad y destacan la importancia de mejorar el proceso de gestión del mantenimiento. Se requiere, eso sí, de un cambio en la manera de abordar el problema, se debe pasar de ser reactivos a ser proactivos (Ayo-Imoru & Cilliers, 2018) para así: responder a los lineamientos y políticas organizacionales al interior del proceso de mecanización, ser más productivos y poder contribuir a la competitividad de la compañía (Chesworth, 2018; Garg & Deshmukh, 2006).

Puesto el problema en cifras, cerca de la mitad de las intervenciones de mantenimiento en la división forestal de la empresa son correctivas, lo que ocasiona variabilidad y baja disponibilidad de los equipos (entre 60 y 75 %) y sobrecostos anuales del orden de setenta millones de pesos debido al retraso del programa de producción, las pérdidas de producción, la inactividad de los equipos y las tripulaciones, el pago de tiempo extra y el alquiler de equipos alternos.

El proyecto se desarrolló con el objetivo de elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de producción en la división forestal de la empresa, para ello estableció como objetivos específicos: determinar el estado actual de la gestión del mantenimiento de los equipos de la división; analizar el estado actual de la gestión del mantenimiento de la división frente a los modelos de gestión de mantenimiento existentes; y elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de la división.

## ANTECEDENTES

El rol del mantenimiento en las industrias ha evolucionado en el último siglo hasta convertirse en unas de las áreas estratégicas de mayor atención (Garg & Deshmukh, 2006). De acuerdo con Cholasuke et al. (2004), si la gestión del mantenimiento es exitosa, se pueden incrementar los ingresos por volumen de producción y precio y reducir los costos ocasionados por pérdidas de producción y costos directos de mantenimiento.

Antes de la Segunda Guerra Mundial el mantenimiento se enfocaba en “arreglar después de la falla” (Smith, 2006; Ayo-Imoru & Cilliers, 2018). Con su finalización el mundo comenzó a experimentar un gran avance en la tecnología, las industrias tuvieron máquinas más complejas y la demanda de bienes y servicios aumentó. Los tiempos de inactividad (*downtime*) podían entonces llevar el negocio al fracaso, razón por la cual el mundo evolucionó desde un enfoque correctivo del mantenimiento hacia otro de carácter preventivo.

En los setenta ya el mantenimiento preventivo se ejecutaba de manera periódica e involucraba una programación de actividades en intervalos regulares para evitar fallas y ser más rentable; la tendencia actual mantiene el enfoque preventivo, pero ya no basado en intervalos sino en niveles de deterioro. En la TABLA 1 se presenta la evolución de la gestión de mantenimiento en la industria y las salidas que se obtienen al aplicar de cada uno de estos tres conceptos.

Organ et al. (1997), por su parte, argumenta que la gestión del mantenimiento debe ser proactiva, evitar que los componentes se descompongan, de tal manera que construya confiabilidad y se incremente el tiempo de operación y producción. Los costos del mantenimiento correctivo son altos y directamente proporcionales a los tiempos de inactividad. Un buen sistema de gestión de mantenimiento realizado con personal experto y capacitado, puede prevenir problemas de salud y seguridad y daños ambientales; generar una vida útil más larga de los activos, con pocas averías; y con ello costos más bajos de operación (Government of Canada, 2000).

La gestión de mantenimiento se asocia frecuentemente a un amplio rango de dificultades, entre ellas: a la pérdida de modelos de gestión de mantenimiento; la pérdida de conocimientos y datos de los procesos; y la pérdida de tiempo en realizar el análisis requerido para mejorar la gestión. Los principales conceptos alrededor de los modelos de gestión del mantenimiento se desprenden principalmente de los de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo. La gestión del mantenimiento es un campo muy amplio que ha sido estudiado por varios autores, una recopilación efectuada por Garg y Deshmukh (2006) clasificó la literatura de gestión de mantenimiento en seis áreas: técnicas de mantenimiento, programación de mantenimiento, políticas de mantenimiento, modelos de optimización de mantenimiento, medición de desempeño de mantenimiento y sistemas de información de mantenimiento (de ellas, las tres primeras son de mayor interés para esta investigación).

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

**Tabla 1. Sistemas de mantenimiento y sus características**

Tipo	Base	Enfoque	Salidas
Correctivo	Falla	Arreglar después de la falla	Tiempo de inactividad. Interrupciones no planeadas. Alto costo de operación. Alto costo de producción. Alto costo de reparación. Muchas emergencias. Cliente insatisfecho. Gerencia presionada.
Preventivo (basado en el tiempo)	Intervalos regulares	Servicio / reparación basado en intervalos de tiempo.	Tiempo de inactividad reducido. Mantenimiento planeado. Mantenimiento costoso. Bajo costo de operación. Reemplazo de partes buenas. Menos emergencias. Mantenimiento innecesario. Cliente satisfecho. Gerencia insatisfecha.
Preventivo (basado en la condición)	Condición de la planta	Servicio / reparación basado en el nivel de deterioro.	Tiempo de inactividad reducido. Mantenimiento planeado. Costo de mantenimiento rentable. Bajo costo de operación. Reemplazo de solo partes malas. Incremento de la producción. Extensión de la vida de la planta. Menos actividades de emergencia. Cliente satisfechos. Gerencia satisfecha.

De acuerdo con Garg y Deshmukh (2006), los modelos de optimización de mantenimiento pueden ser cualitativos o cuantitativos. Los cualitativos incluyen técnicas como: mantenimiento productivo total [TPM], centrado en la persona y parte integral de la gestión de la calidad total [TQM]; y mantenimiento centrado en la confiabilidad [RCM], cuyo foco es la toma de decisiones de las tareas de mantenimiento a ser empleadas (Tsang, 2002). Los

cuantitativos incorporan modelación matemática, determinística, estocástica para desarrollar planes de mantenimiento integral en flotas de equipos.

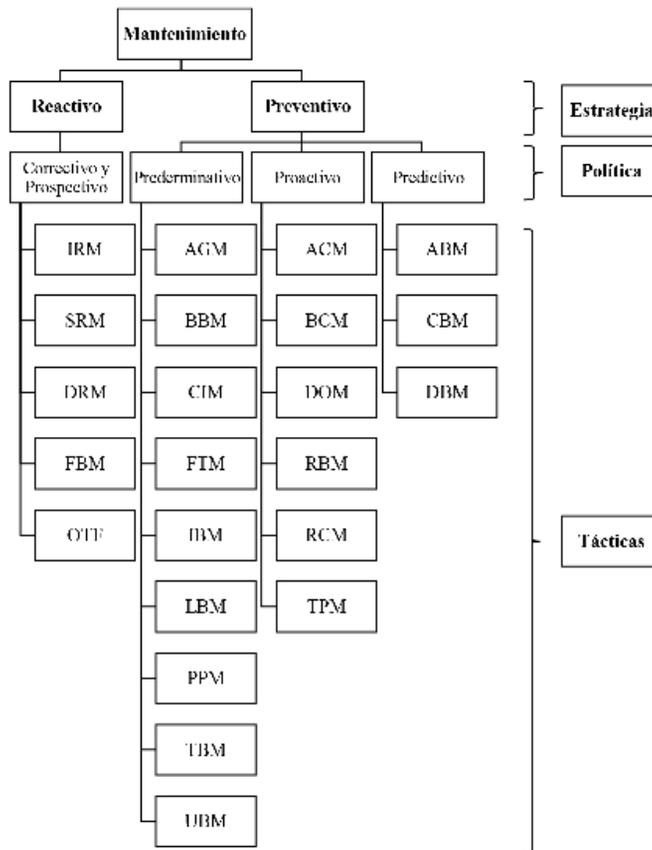
Al respecto: Cassady et al. (1998) plantean la oportunidad de obtener ganancias significativas en la productividad con la aplicación de técnicas de modelado matemático; Rawat y Lad (2015) desarrollan modelación matemática con base en las tasas de falla de los componentes y tienen en cuenta el almacenamiento de piezas de repuesto con el fin de minimizar el ciclo del costo de vida del mantenimiento de la flota; y Dekker (1996) define los modelos de optimización de mantenimiento con el objetivo de encontrar el equilibrio óptimo entre los costos y beneficios del mantenimiento, teniendo en cuenta todo tipo de restricciones.

Khazraei y Deuse (2011) clasifican los tipos de mantenimiento y hacen énfasis en la diferencia entre estrategia, política y táctica (FIGURA 4). Argumentan que en mantenimiento hay estrategias de dos clases: reactivas, en donde se gestionan políticas como la correctiva y prospectiva; y preventivas, en donde se gestionan las políticas prederminativa, proactiva y predictiva. Las tácticas para estas tres últimas (más en la línea de esta investigación), se listan a continuación.

Para una política predermintativa, las tácticas pueden ser:

- mantenimiento basado en la edad [AGM, *Age-Based Maintenance*], centrado en la renovación por edad de la máquina, que se mantiene de forma preventiva hasta un cierto número de períodos de tiempo sin una falla;
- mantenimiento basado en bloque [BBM, *Block-Based Maintenance*], realizado preventivamente en intervalos de tiempo definidos que pueden tener diferentes longitudes;
- mantenimiento de intervalo constante [CIM, *Constant-Interval Maintenance*], realizado preventivamente a intervalos de tiempo definidos que tienen longitudes fijas y constantes;
- mantenimiento de tiempo fijo [FTM, *Fixed-Time Maintenance*], que intenta reducir el número de fallas al reemplazar, reparar o dar servicio a la herramienta después de un período de tiempo planificado y preestablecido;
- mantenimiento basado en inspección [IBM, *Inspection-Based Maintenance*], centrado en la condición de los componentes sometidos a inspecciones técnicas y visuales (que a menudo se evalúa en una escala discreta);
- mantenimiento basado en la vida [LBM, *Life-Based Maintenance*], enfocado en la vida útil de la maquinaria;

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal



**Figura 4. Tipos de Mantenimiento (Khazraei & Deuse, 2011)**

- mantenimiento preventivo planificado [PPM, *Planned Preventive Maintenance*], que se realiza como un trabajo regular y repetitivo para mantener el equipo en buen estado de funcionamiento y optimizar su eficiencia y precisión;
- mantenimiento basado en el tiempo [TBM, *Time-Based Maintenance*], realizado en intervalos fijos, sea el problema evidente o no, para evitar la falla de los elementos mientras el sistema opera; y
- mantenimiento basado en el uso [UBM, *Use-Based Maintenance*], que se lleva a cabo después de una cantidad específica y definida de tiempo de uso del componente o la máquina.

Para una política proactiva, las tácticas pueden ser:

- mantenimiento centrado en la disponibilidad [ACM, *Availability Centered Maintenance*], en donde se acentúan las acciones de servicio mecánico, reparación y reemplazo en función de la disponibilidad;
- mantenimiento centrado en el negocio [BCM, *Business Centered Maintenance*], basado en la identificación de los objetivos del negocio y su “traducción” en objetivos de mantenimiento;
- diseño de mantenimiento [DOM, *Design-Out Maintenance*], centrado en el cambio de diseño debido a fallas recurrentes del mismo tipo que ocurren después de que un sistema se pone en servicio;
- mantenimiento basado en riesgo [RBM, *Risk-Based Maintenance*], enfocado en minimizar el riesgo que resulta de las averías o fallas;
- mantenimiento centrado en confiabilidad [RCM, *Reliability Centered Maintenance*], basado en la idea de que todos los equipos de una instalación no tienen la misma importancia que el proceso o la seguridad de la instalación; y
- mantenimiento productivo total [TPM, *Total Productive Maintenance*], que centrado en el proceso, las personas y la prevención del deterioro, intenta evitar cualquier tipo de holgura antes de que ocurra.

Para una política predictiva, las tácticas pueden ser:

- mantenimiento basado en la condición [CBM, *Condition-Based Maintenance*], que parte de la idea de que la mayoría de las fallas no ocurren instantáneamente y pueden predecirse mediante el monitoreo de la condición;
- mantenimiento basado en evitar [ABM, *Avoid-Based Maintenance*], centrado en evitar una falla en lugar de detectarla; y
- mantenimiento basado en la detección [DBM, *Detection-Based Maintenance*], que se lleva a cabo como consecuencia del monitoreo de la condición y es realizado solo por los sentidos humanos.

Como se puede apreciar, en las predeterminativas las diferencias entre una y otra táctica son mínimas, algo que en la práctica puede confundir al personal encargado de su planeación y ejecución. Por ello se considera necesario ser menos específico para lograr aplicabilidad y autonomía en la gestión del mantenimiento. Las tácticas de las políticas proactiva y predictiva, en cambio, están mejor enfocadas. De acuerdo con Fraser (2014), las tácticas más estudiadas y aplicadas en la industria son, en su orden: TPM, CBM y RCM.

Como existen diferentes tácticas de gestión de mantenimiento, se han estudiado diferentes maneras de medir el desempeño, Simões et al. (2011), con base en una revisión de publicaciones del periodo 1979-2009 establecieron las cinco principales medidas de desempeño en la gestión de mantenimiento en la industria así: el costo, la efectividad global de los equipos [OEE, *Overall Equipment Effectiveness*], la disponibilidad, calidad y tiempo medio entre fallas [MTBF, *Mean Time Between Failures*].

Cholasuke et al. (2004), por su parte argumentan que para una gestión de mantenimiento efectiva se deben tener en cuenta: el despliegue de las políticas y organización, el enfoque del mantenimiento, la planificación de tareas y programación, la gestión de la información o los sistemas de gestión de mantenimiento por software, la gestión de piezas de recambio, la gestión de recursos humanos, la contratación de mantenimiento, el aspecto financiero y la mejora continua.

Para Lewis y Steinberg (2001), la tasa de disponibilidad se debe acompañar de indicadores como el MTBF, el tiempo medio para reparación (MTTR, *Mean Time To Repair*) y la razón de desempeño, porque si se tienen, por ejemplo dos piezas idénticas de un equipo y la primera falla una vez al día con un periodo de inactividad de una hora y la otra falla dos veces al día con una duración de inactividad de media hora, ambas piezas del equipo tienen la misma disponibilidad, pero la segunda tiene una frecuencia de falla más alta e interrumpe con más severidad el proceso de producción.

Garg y Deshmukh (2006), Khazraei y Deuse (2011) y Simões et al. (2011) se enfocan en clasificar la literatura referente al mantenimiento y se inclinan hacia la gestión del mantenimiento de la industria de manufactura. En la misma línea de la gestión de mantenimiento, Exner et al. (2017) identifican dos tipos de estrategias de mantenimiento: reactiva y proactiva, e indican que en la primera el mantenimiento no es planeado y toma lugar después de la emergencia, mientras que en la segunda el mantenimiento es planeado y se desarrolla antes de que ocurra el error.

Además, los autores dividen el mantenimiento proactivo en preventivo y predictivo. Realizar el mantenimiento preventivo significa mantener los equipos dependiendo de intervalos de tiempo fijos (*e.g.*, cada año) o dependiendo el uso del equipo (*e.g.*, cada mil horas de operación), el mantenimiento predictivo, en cambio, se basa en la condición presente del equipo.

Tsang (2002) plantea cuatro estrategias: la entrega del servicio (*outsourcing*), la organización y estructuración del trabajo, la metodología del mantenimiento y el diseño de la infraestructura que soporta el mantenimiento, y para ellas cuenta con dos factores transversales: el factor humano y el flujo de la información. Indica que, con base en la información preliminar, la propuesta de gestión de mantenimiento se debe enfocar en las personas, los procesos y los equipos.

Respecto de la importancia de las personas y los procesos, Lewis y Steinberg (2001) expresan que el tiempo total de inactividad está en función de la habilidad de las personas y la logística del proceso: la habilidad, cuando los técnicos diagnostican y solucionan problemas; y la logística del proceso, cuando la respuesta de mantenimiento es buena, las partes o repuestos están en el almacén o son de fácil ubicación y cuando el equipos se prueba y se entrega al proceso de producción.

La TABLA 2 corresponde a la matriz de las áreas de la gestión de mantenimiento y se diseñó para consolidar la literatura encontrada durante esta investigación; en ella, las dos primeras columnas incluyen las áreas de la propuesta de gestión de mantenimiento y los temas que las conforman, y las siguientes a los autores revisados. La intersección de ambas permite apreciar, visualmente, el peso relativo de cada uno de los temas.

Además, de acuerdo con Viveros et al. (2013), la gestión del mantenimiento moderno es un conjunto de actividades encaminadas a determinar objetivos y prioridades de mantenimiento, estrategias y responsabilidades. En la FIGURA 5

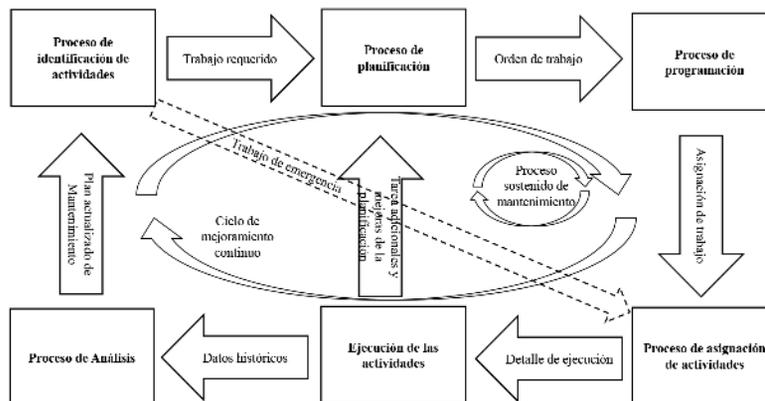


Figura 5. Ciclo de gestión de mantenimiento (Viveros et al., 2013)

Tabla 2. Matriz de gestión de mantenimiento

Temas	Vanneste y Van Wassenhove (1995)	Moubray (1995)	Dekker (1996)	Cassady et al., (1998)	Labib (1999) 001	Lewis y Steinberg (2002)	Tsang (2002)	Murthy et al., (2002)	Garrido (2003)	Cholasuke et al., (2004)	Eitner et al., (2006)	Smith (2006)	Garg y Deshmukh (2006)	Crespo (2007)	Ahmedi et al., (2010)	Sullivan et al., (2010)	Simões et al., (2011)	Milje, (2011)	Khazraei y Deuse (2011)	Viveros et al., (2013)	Kumar et al., (2013)	Fraser (2014)	Mostafa et al., (2015)	Piechmicki et al., (2015)	Jefferts et al., (2016)	Basri et al., (2017)	Exner et al., (2017)	Ayo-Imoru y Cilliers (2018)	Lundgren et al., (2018)	
Políticas, estrategias y objetivos	Δ	Δ																												
Impacto de los equipos en la línea de producción																														
Criticidad de equipos / cuello de botella																														
Análisis de causa raíz																														
Modelación matemática																														
Mantenimiento preventivo																														
Monitoreo por condición																														
Mantenimiento basado en la condición																														
Despliegue de la función de calidad																														
Mantenimiento productivo total																														

**Tabla 2. Matriz de gestión de mantenimiento**

Temas	Vanneste y Van Wassenhove (1995)	Moubray (1995)	Dekker (1996)	Cassady et al., (1998)	Labib (1999) 001)	Lewis y Steinberg (2	Tsang (2002)	Murthy et al., (2002)	Garrido (2003)	Cholasuke et al., (2004)	Etiel et al., (2006)	Smith (2006)	Garg y Deshmukh (2006)	Crespo (2007)	Ahmadi et al., (2010)	Sullivan et al., (2010)	Simões et al., (2011)	Milje, (2011)	Khazraei y Deuse (2011)	Viveros et al., (2013)	Kumar et al., (2013)	Fraser (2014)	Mostafa et al., (2015)	Piechnicki et al., (2015)	Jeffers et al., (2016)	Basri et al., (2017)	Exner et al., (2017)	Ayo-Imoru y Cilliers (2018)	Lundgren et al., (2018)	
Diseño de planes de mantenimiento y ... (cont.)		Δ	Δ																											
Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento								Δ																						
Gestión del recurso humano																														

se aprecia el ciclo de gestión de mantenimiento, el cual incluye los conceptos de proceso sostenido de mantenimiento y mejoramiento continuo. Un modelo de gestión de mantenimiento, de acuerdo con los autores, debe contener los planes de mantenimiento preventivo y los recursos necesarios para ello, ajustado a la familia de equipos y al proceso de selección de repuestos críticos (costo del inventario versus costo de la indisponibilidad de equipos críticos).

El análisis de criticidad es un conjunto de métodos que permite definir la jerarquía o prioridades de un proceso, sistema o equipos, y genera una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas para direccionar esfuerzos y recursos técnico-económicos hacia las áreas y eventos de mayor impacto en el negocio (Viveros et al., 2013). Para su determinación se puede utilizar el método cualitativo-cuantitativo de criticidad o el método cualitativo.

En el primer método se involucran datos objetivos para generar una guía de criticidad cuantificada según: la frecuencia de falla, el impacto en la producción causado por la falla, los costos de reparación, el tiempo de reparación, el impacto en la seguridad personal y el impacto ambiental. En este caso, el factor cualitativo está representado en generar la escala o criterio que represente los resultados de cada ítem medible y la definición final de la jerarquización de criticidad (Viveros et al., 2013). El nivel de riesgo o criticidad –crítico [C], Semicrítico [SC] y No Crítico [NC]– se define como el producto de la frecuencia por la consecuencia de la falla, donde la frecuencia es el número de fallas en un tiempo determinado y la consecuencia consiste de una serie de factores o criterios de importancia en función de las necesidades de la organización, tales como el impacto operacional, los costos de mantenimiento y el impacto en su seguridad y el medio ambiente. La FIGURA 6 corresponde a una matriz típica para la evaluación del riesgo de los equipos.

	1	C	C	C	C	C
Frecuencia	2	SC	C	C	C	C
	3	SC	SC	C	C	C
	4	NC	SC	SC	C	C
	5	NC	NC	SC	SC	C
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

Figura 6. Matriz de evaluación del riesgo

El segundo método es útil cuando no existen datos históricos que permitan obtener los índices o el número probabilístico de riesgo del activo o equipo; en él, se usan técnicas de naturaleza más cualitativa con el objetivo de garantizar niveles iniciales adecuados de efectividad en las operaciones de mantenimiento (Viveros et al., 2013). Este método cualitativo está basado en opiniones de especialistas, en él se combinan criterios técnicos y financieros para jerarquizar un equipo.

Para Garrido (2003), el análisis de criticidad debe considerar los criterios de: seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento; su calificación, donde el valor más alto equivale a más crítico, permite valorar a un equipo como crítico (esencial), semicrítico (importante) y no crítico (prescindible), como se presenta en la TABLA 3.

De acuerdo con Viveros et al. (2013), para determinar el estado actual de la maquinaria se necesita conocer: la planificación, programación y ejecución de

**Tabla 3. Análisis de criticidad (Garrido, 2003)**

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
Crítico	Puede originar un accidente muy grave.  Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).  Ha producido accidentes en el pasado.	Su parada afecta al plan de producción.	Es clave para la calidad del producto.  Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Alto costo de reparación en caso de avería.  Averías muy frecuentes.  Consume una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y materiales).
Importante / semicrítico	Necesita revisiones periódicas frecuentes (anuales)  Puede ocasionar un accidente grave, pero la posibilidades son remotas.	Afecta a la producción pero es recuperable, no llega a afectar a los clientes o al plan de producción.	Afecta a la calidad pero habitualmente no es problemático.	Costo medio en mantenimiento.
Prescindible / no crítico	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

las tareas de mantenimiento; el histórico de fallas; los indicadores de gestión de mantenimiento –como MTBF y MTTR–; los recursos financieros asignados al mantenimiento; y el impacto económico o en la producción de una parada no programada de la planta o subsistema que suceda como consecuencia de un falla del equipo.

## VALORACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### CRITICIDAD

A partir de la recopilación de la información del periodo 2012 - 2017 del módulo de costos del software de la compañía, se analizó la razón: número de intervenciones por familia de equipos entre número de equipos, cuyos resultados se presentan en las FIGURAS 7 y 8. En ambas figuras, el eje vertical corresponde a dicha razón y el eje horizontal, al comportamiento de cada uno de los sistemas en las diferentes familias de equipos y el comportamiento de cada familia de equipos en los sistemas propios.

Con base en dicho análisis se puede afirmar que el sistema hidráulico presenta la mayor cantidad de intervenciones en las familias de cargadores trineumáticos, grúas de cargue, excavadoras y motoniveladoras. Le siguen, en orden: el sistema estructura en las familias de cargadores trineumáticos, grúas de cargue, motoniveladoras y arrastrador de troncos; el sistema eléctrico de las familias de equipos de cargadores trineumáticos, grúas de cargue y motoniveladoras; el sistema motor que impacta a los cargadores trineumáticos, buldóceres, excavadoras, motoniveladoras y arrastrador de troncos; y el sistema de cargue, que tiene una gran cantidad de intervenciones en las familias de cargadores trineumáticos, torre de madero y motoniveladoras. De acuerdo con esto, los sistemas que necesitan mayor atención son: hidráulico, estructura, eléctrico, motor, cargue, potencia y rodamiento, lo que a su vez indica que para la actividad rutinaria se debe contar con personal capacitado en aspectos técnicos y de operación, repuestos necesarios para atender intervenciones y se debe disminuir el tiempo de inactividad de los equipos para que puedan ser aprovechados por producción.

Para el análisis de criticidad, de los cuatro criterios propuestos por Garrido (2003) en este caso no aplica el de calidad para la presentación o futuros rechazos de la materia prima porque la gran mayoría de esta se dirige a un

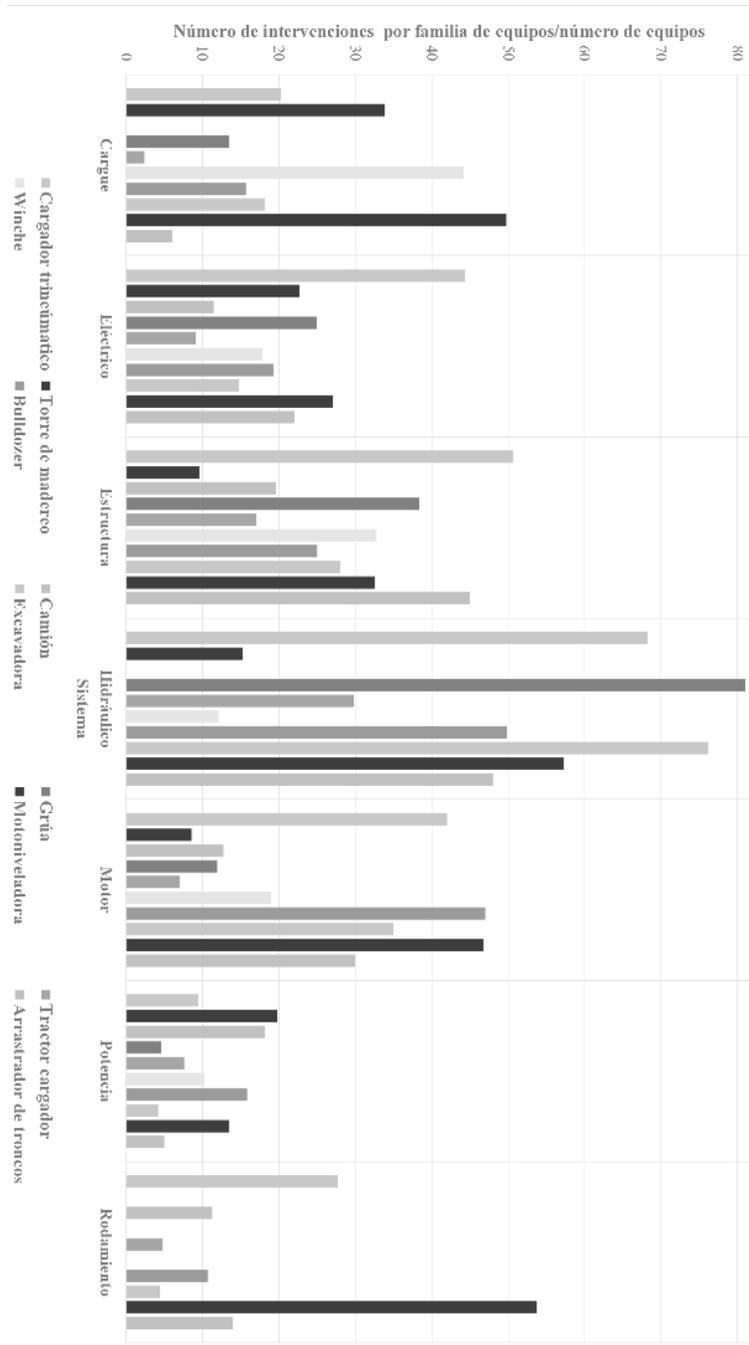
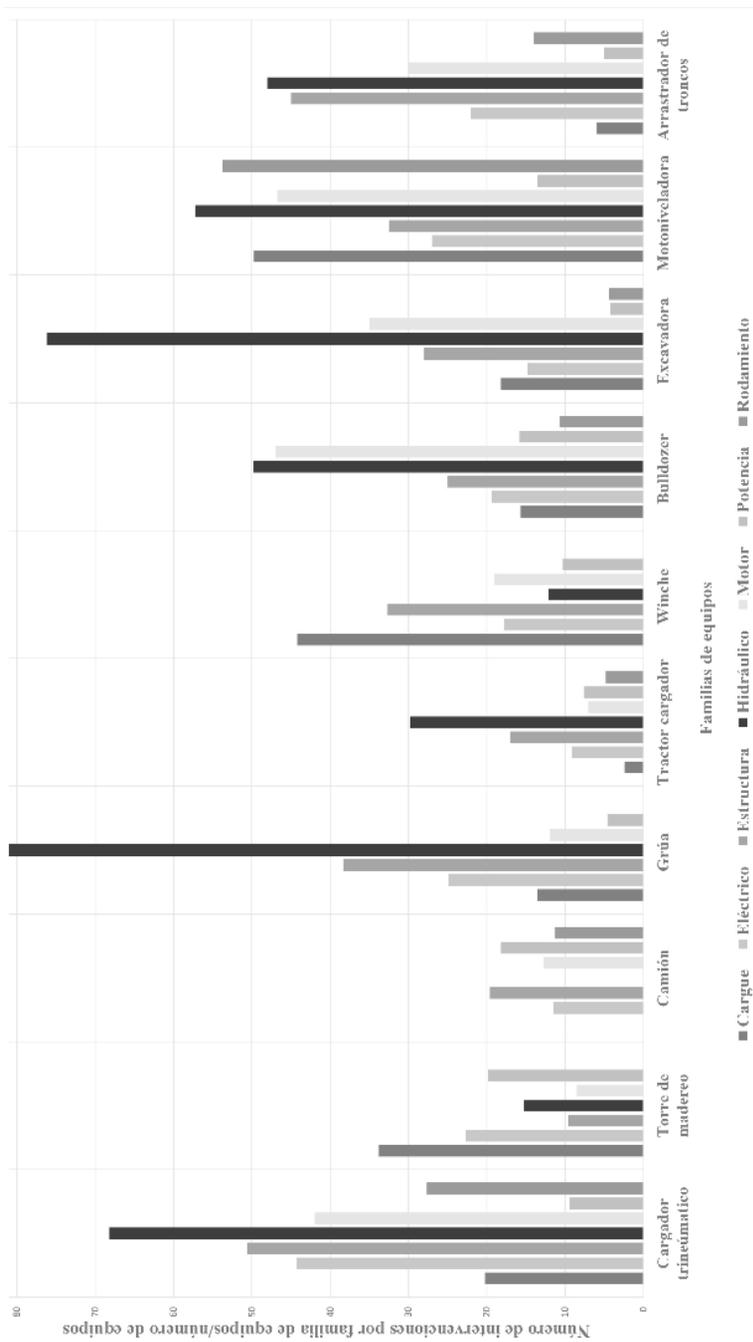


Figura 7. Frecuencia de intervenciones por sistemas en familia de equipos

Figura 8. Frecuencia de intervenciones por familia de equipos en sistemas



proceso de astillado y la madera que se vende a los aserríos se transforma en nuevas formas de producto. Con base en la información anterior y de acuerdo con el contexto en el que se encuentra la división forestal (cambio de clima, de la demanda del mercado, de la necesidad de materia prima, aspectos sociales de la región, variabilidad en la disponibilidad de equipos, etc.), el método de análisis de criticidad que mejor se acondiciona es el cualitativo, puesto que por experiencia en la división se tienen detectados las familias de equipos que pueden causar el cuello de botella o la ruta crítica durante la operación.

En la FIGURA 9 se mencionan las familias de equipos que intervienen en el proceso de cosecha y vías con su respectivo nivel de criticidad. Para la compañía la prioridad es el abastecimiento de la materia prima para la planta y el proceso de cosecha cuenta con los equipos para esta función, ellos se califican como críticos o semicríticos (importante); los equipos de construcción y mantenimiento de vías, por su parte, se califican como no críticos (prescindible) debido a que no siempre se desarrollan vías y se pueden alquilar con mayor facilidad en la región. Estos niveles de criticidad no son estáticos y el de un equipo puede cambiar de nivel según las necesidades de la operación. El orden lógico del trabajo de producción comienza en la cosecha de madera y termina en su cargue, como lo representa la flecha en la parte superior de la FIGURA 9.

COSECHA	EXTRACCIÓN	EVACUACIÓN	CARGUE	MANTENIMIENTO / CONSTRUCCIÓN DE VÍAS
Excavadora con accesorio cortador de madera	Arrastrador de troncos	Cargador trineumático	Tractor cargador / grúa / cargador trineumático	Buldozer / motoniveladora
	Torre de madereo	Cargador trineumático	Tractor cargador / grúa / cargador trineumático	
	Winche	Cargador trineumático	Tractor cargador / grúa / cargador trineumático	
Crítico	Crítico	Semicrítico	Semicrítico	No crítico

**Figura 9. Proceso de cosecha mecanizada y vías: equipos y su nivel de criticidad**

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

En la TABLA 4 se aprecian las capacidades de producción estimadas de los equipos catalogados como críticos y semicríticos y todo el grupo de personas de apoyo por cada equipo en el frente de cosecha, esto es de gran utilidad para dimensionar el impacto de su no disponibilidad en la producción.

**Tabla 4. Capacidad de producción por equipo y personas en la labor**

Familia de equipos	Cantidad	Producción (toneladas)	Personas / frente de cosecha
Cargador trineumático	43	1.100	8
Torre de madereo	29	1.100	9
Camión	19	1.500	8
Grúa	17		
Tractor cargador	10	900	4
Winche	8	750	5
Excavadora	4	3.500	15
Arrastrador de troncos	1	3.500	15

De acuerdo con un análisis de Pareto y con base en la clasificación del nivel de criticidad de los equipos, se determinó en qué sistemas se presenta la mayor cantidad de averías. Para los equipos críticos y semicríticos, se realizaron diagramas circulares para identificar los componentes que han requerido el mayor número de intervenciones y el mayor porcentaje de costos en los sistemas (FIGURAS 10 a 16). Con base en estos componentes se realizó una matriz 5W- 1H –que se presenta en la TABLA 5, al final de esta sección–, con el fin de analizar las causas de las averías y proponer el plan de acción para mejorar la disponibilidad de los equipos.

En la FIGURA 10 se muestran los diagramas circulares correspondientes a la excavadora: a la izquierda el porcentaje de intervenciones en el sistema hidráulico, motor y estructura, y a la derecha sus respectivos porcentajes de costos. En el sistema hidráulico: el 52 % de las intervenciones y el 57 % de los costos corresponden a mangueras y el 43 % de las intervenciones y el 30 % de los costos al componente aceite, cabe mencionar que al mejorar la gestión del componente mangueras se disminuyen las intervenciones y costos del componente aceite. En el sistema motor, el 61 % de las intervenciones y el 83

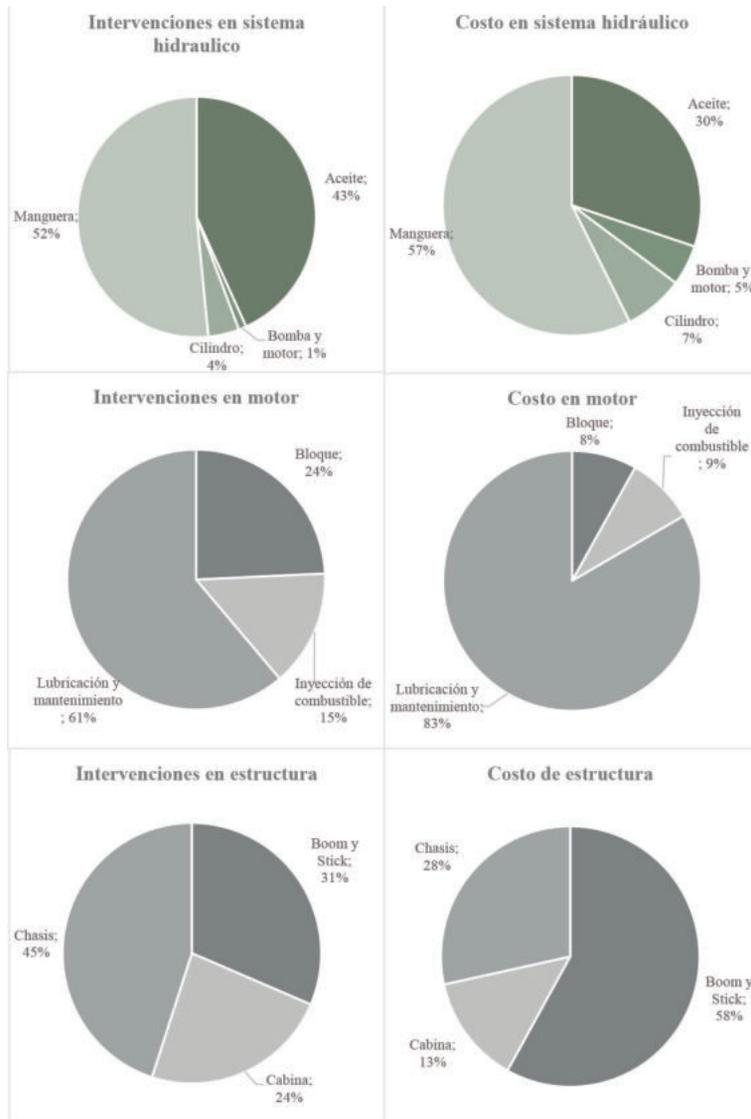


Figura 10. Excavadora

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

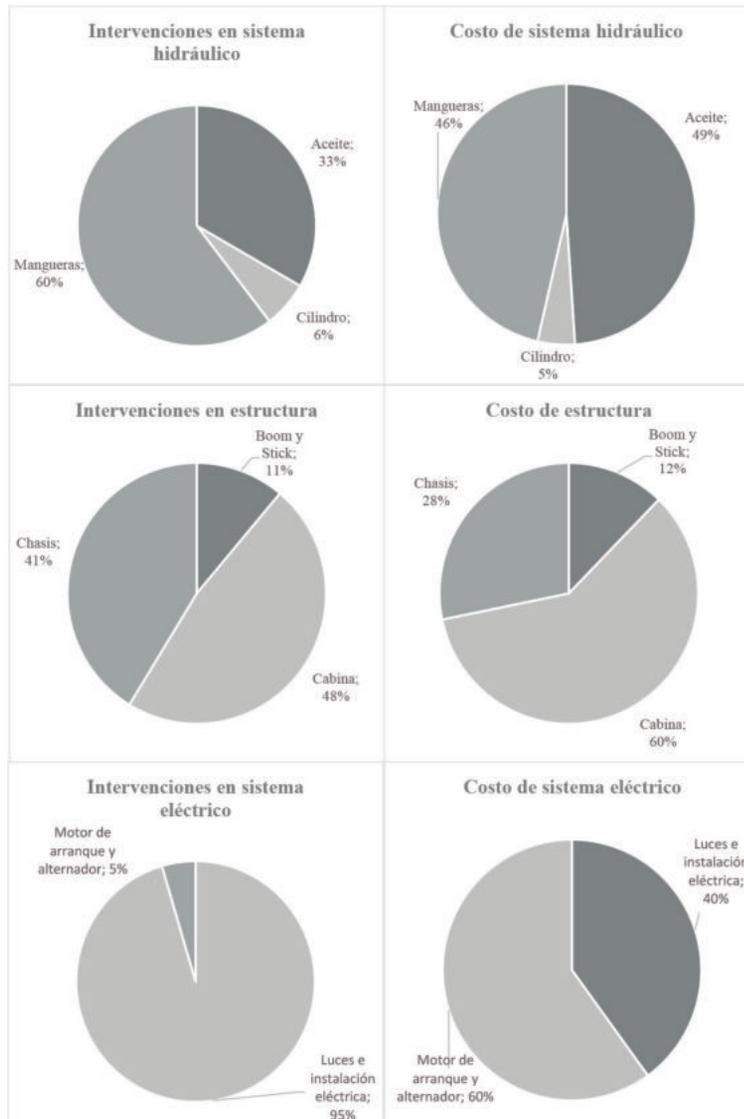


Figura 11. Arrastrador de troncos

% de los costos se presentan en el componente lubricación y mantenimiento. En el sistema estructura el 45 % de las intervenciones y el 28 % de los costos corresponden al componente chasis, y el 31 % de las intervenciones y el 58 % de los costos al componente *boom* y *stick*. Este último porcentaje puede obedecer a una escasa lubricación.

En la FIGURA 11, con la misma lógica de la FIGURA 10, se presenta lo correspondiente al arrastrador de troncos y los sistemas hidráulico, estructura y eléctrico. En el sistema hidráulico 60 % de las intervenciones y 46 % de los costos corresponden al componente mangueras, y 33 % de las intervenciones y 49 % de los costos al componente aceite. Tal como se mencionó para la familia anterior, al mejorar la gestión del componente mangueras se disminuyen las intervenciones y costos del componente aceite. En el sistema estructura el 48 % de las intervenciones y el 60 % de los costos corresponden al componente cabina y en el sistema eléctrico, el 95 % de las intervenciones y el 40 % de los costos, al componente luces e instalación eléctrica.

La FIGURA 12 presenta la información que corresponde al *winche*, en donde la mayor cantidad de averías se presenta en los sistemas de cargue, estructura y eléctrico. El sistema de cargue no se ha incluido porque se compone de un accesorio llamado carrito –con el cual se iza y se transporta la madera por medio de cables–, que incluye una gran cantidad de partes y merece por ello un análisis especial que esta por fuera del alcance de este trabajo; el sistema de estructura, compuesto por el chasis donde está montado el equipo tampoco ha sido incluido. La gráfica corresponde al sistema eléctrico y en ella se puede

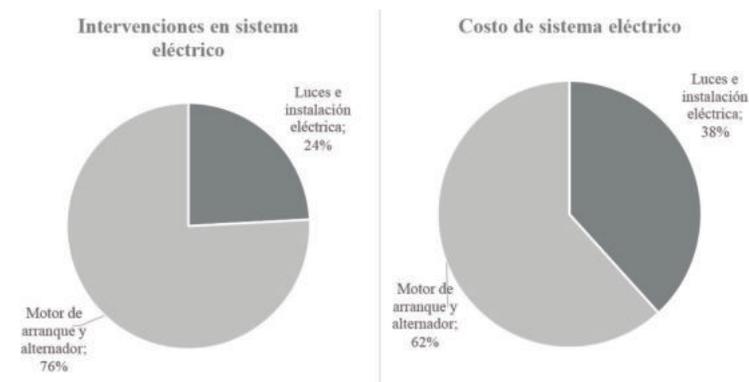


Figura 12. Winche

observar que el 76% de las intervenciones y el 62% de los costos corresponden al componente motor de arranque y alternador.

En la FIGURA 13 se presenta lo correspondiente a la torre de madereo, esta familia de equipos cuenta con tres sistemas en los cuales se tienen las averías de mayor impacto: cargue (carreto), potencia y eléctrico. Por su tamaño, los dos primeros merecen un análisis especial, por fuera del alcance de este proyecto. En el sistema eléctrico, el componente instalación eléctrica genera el 42 % de las intervenciones y el 51 % de los costos, mientras que el componente baterías para estrobos electrónicos, presenta un participación igual en las intervenciones, pero solo genera el 34 % de los costos.

La FIGURA 14 corresponde a los datos de la grúa, en ella se puede apreciar que los sistemas en donde más se generan averías son el hidráulico y el eléctrico. En el sistema hidráulico se presentan intervenciones del 45 % y costos del 38 % en el componente mangueras e intervenciones del 29 % y costos de 13 % en el componente aceite; sin embargo, merece atención especial las intervenciones en bomba y motor (11 %) que genera un 26 % de los costos, y en cilindros (15 %), que generan un 24 % de los costos. De igual manera, en el sistema eléctrico, el 58 % de las intervenciones en luces e instalación eléctrica corresponde a un 68 % de los costos.

En el cargador trineumático (FIGURA 15) los sistemas en donde se generan más averías son, en su orden: hidráulico, estructura y eléctrico. En el sistema hidráulico, el 43 % de las intervenciones y el 15 % de los costos se generan en el componente aceite, y el 41 % de las intervenciones y el 35 % de los costos en el componente mangueras. En el sistema estructura el 47 % de las intervenciones y el 59 % de los costos se presenta en el componente boom y stick. En el sistema eléctrico, el 54 % de las intervenciones y el 61 % de los costos corresponde al componente luces e instalación eléctrica, mientras que el 46% de las intervenciones y el 39 % de los costos, al componente motor de arranque y alternador.

Para finalizar, en la FIGURA 16 se presenta la información correspondiente al tractor cargador, donde los sistemas hidráulico y eléctrico generan la mayor cantidad de averías. En el sistema hidráulico el 52 % de las intervenciones y el 61 % de los costos corresponden al componente mangueras, e intervenciones del 37 % y costos del 19 %, al componente aceite. En el sistema eléctrico el 67 % de las intervenciones y el 53 % de los costos corresponden al componente luces e instalación eléctrica.

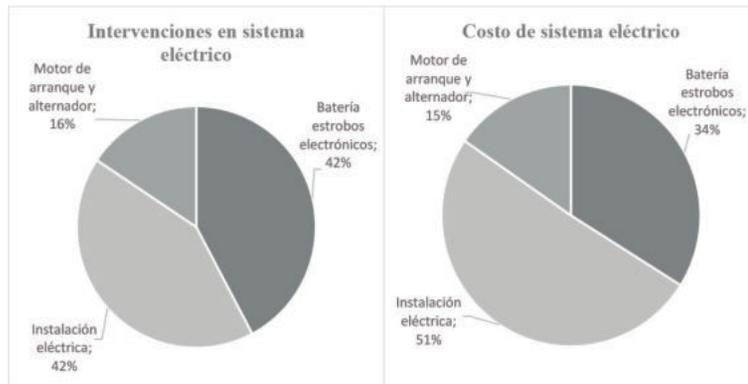


Figura 13. Torre de madereo

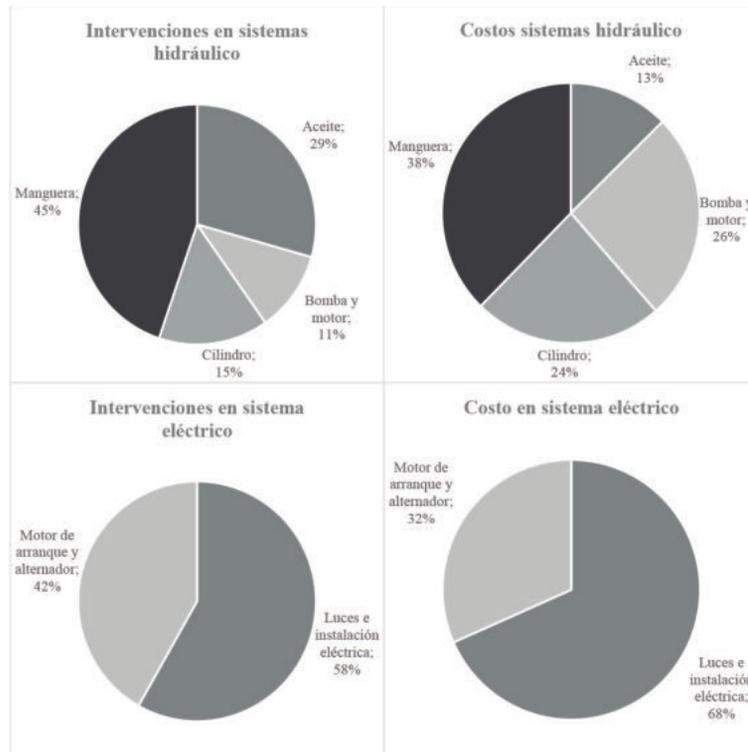
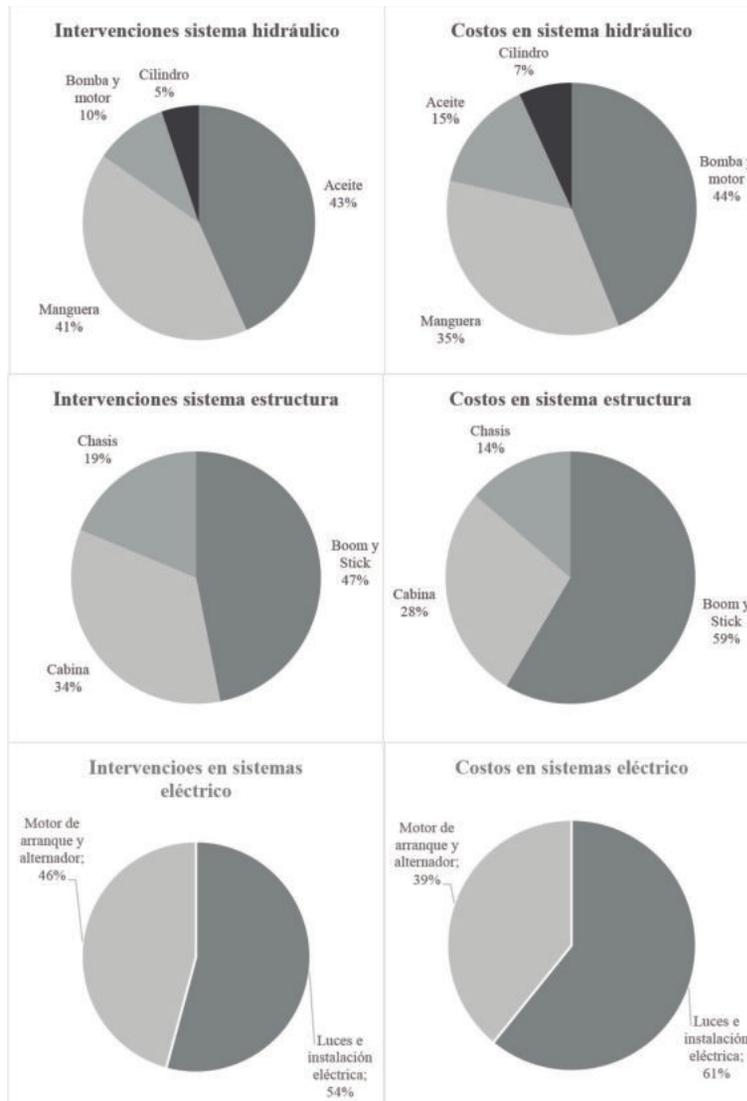
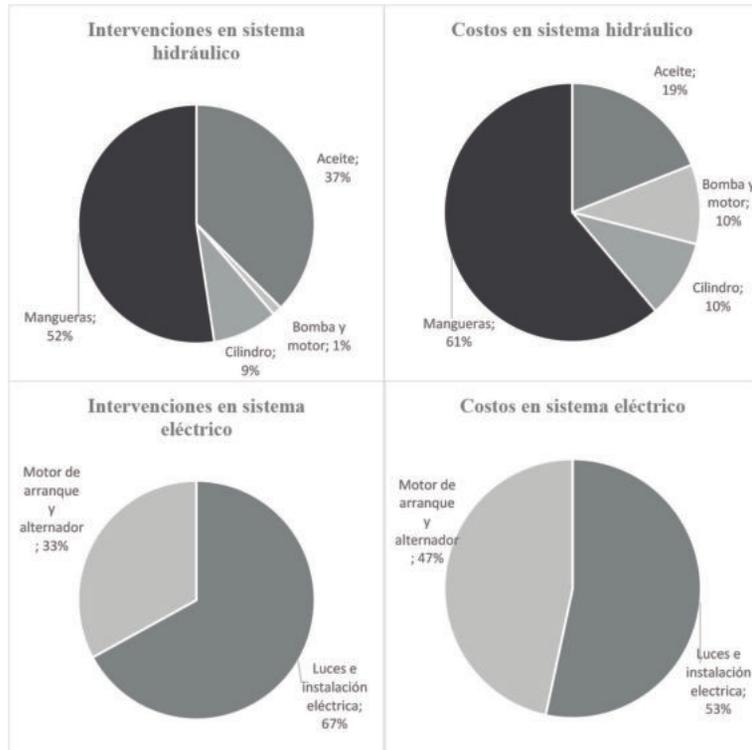


Figura 14. Grúa

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal



**Figura 15. Cargador trineumático**



**Figura 16. Tractor cargador**

De acuerdo con los diagramas circulares de las FIGURAS 10 a 16, se puede observar que para diferentes familias de equipos en los mismos sistemas y componentes se generan averías de tipos similares. En varios casos, previniendo el daño en un componente manguera del sistema hidráulico, se pueden evitar intervenciones y costos en suministro de aceite; si en el sistema eléctrico la instalación está en buen estado, ellos puede redundar en mejores condiciones para el funcionamiento del alternador y del motor de arranque. Es decir, si se corrige el daño en un componente, se puede evitar la intervención en otros.

Con base en este análisis, para determinar las causas de las averías que originan la baja disponibilidad de los equipos, se preparó, como se anticipó, la matriz 5W-1H de la TABLA 5.

**Tabla 5. Matriz 5W-1H: causas de la baja disponibilidad de los equipos**

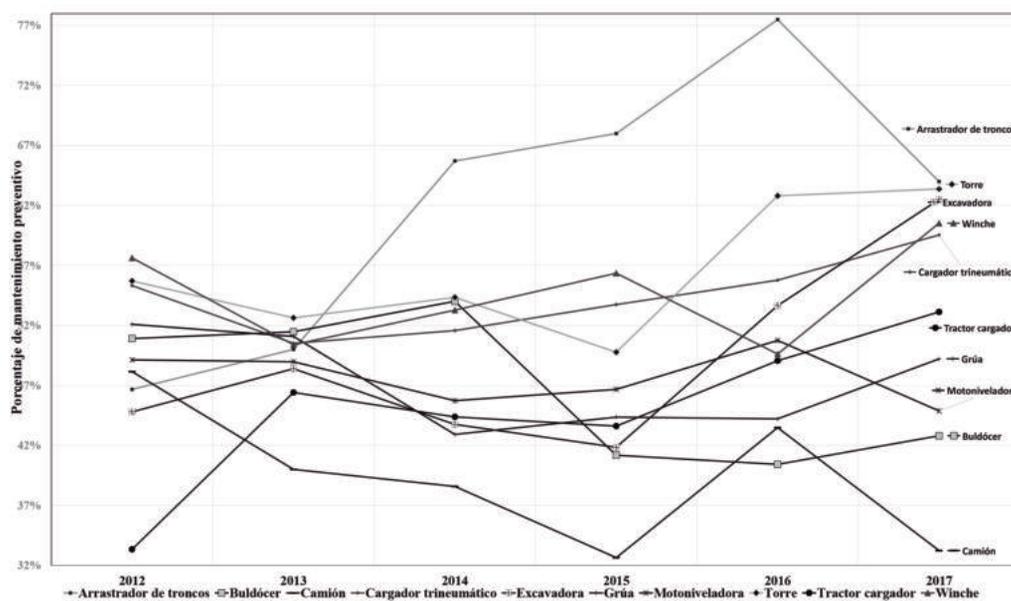
Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quién?	Cómo?
Daño en mangueras hidráulicas.	La manguera se daña, se parte o se desgarran.	Se ve durante la operación del equipo.	La acción de mejora se va a realizar directamente en el equipo.	El técnico mecánico con el operador.	Proteger e instalar de manera segura las mangueras hidráulicas para disminuir el riesgo de enredo con ramas o roce con elementos extraños. Capacitar a técnicos/operadores en montaje de mangueras.
Daño en mangueras hidráulicas.	La calidad de la manguera no cumple los requerimientos.	Cuando se revientan o estallan.	Directamente con el proveedor se van a escoger sus marcas y calidades.	Ingeniero de mecanización, técnicos y departamento de compras.	Capacitar a técnicos en la identificación de calidad de mangueras hidráulicas.
Daño en cilindros hidráulicos.	Los cilindros sufren impacto.	Durante el cargue de las trozas.	Generalmente en cilindro de garra.	Ingenieros de mecanización y de cosecha.	Capacitar a operador y técnico en operación y mantenimiento del cargador trineumático, el tracto cargador y la grúa de cargue.
Daño en cilindros hidráulicos.	Los cilindros presentan fugas por las empaquetaduras que se instalan.	Durante la operación.	Generalmente en cilindro de garra.	Ingeniero de mecanización y de cosecha.	Realizar las reparaciones de los cilindros con proveedores calificados.
Fuga de aceite hidráulico.	La empaquetadura para la reparación de cilindros y bombas hidráulicas no es la adecuada.	Cuando se repara, al poco tiempo se presentan la fuga de aceite.	Previamente alistar los materiales originales.	Auxiliar de mecanización.	Capacitar en planeación de mantenimiento a técnicos. Aprender a manejar el software de mantenimiento de la compañía.
Fuga de aceite hidráulico.	Los componente tienen demasiado desgaste en sus piezas de movimiento.	Cuando se repara en taller.	Definir, mediante criterio técnico, qué componentes no se deben seguir usando.	Ingeniero de mecanización y técnicos mecánicos.	Trabajar de acuerdo con los estándares del fabricante.

**Tabla 5. Matriz 5W-1H: causas de la baja disponibilidad de los equipos (cont.)**

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quién?	Cómo?
Daño en sistema de inyección.	Los equipos no se llenan de combustible al terminar la jornada / El combustible se contamina con agua.	Cuando el equipo se apaga.	Cuando el tanque de combustible o los filtros de combustible se llena de agua.	El operador y supervisor del frente de cosecha.	Capacitar a los operadores/ supervisores sobre daños que puede ocasionar el agua en el sistema de inyección / Garantizar la hermeticidad en los tanques de combustible del equipo y evitar el agua en los sitios de carga de combustible.
Los motores se reparan y no duran el tiempo recomendado por la fábrica.	Son motores que tienen muchas horas de trabajo.	Cuando se repara en taller o concesionario.	Se está viendo el problema en los motores de los cargadores trinunmáticos.	Ingeniero de mecanización y proveedor de la rectificadora.	Analizar técnicamente si es viable reparar o cambiar un motor diesel (revisar tolerancias).
Desgaste en elementos de boom y stick.	No se lubrica adecuadamente los puntos de articulación.	Durante la operación.	Los problemas se ven en la operación.	Técnico mecánico.	Capacitar y realizar seguimiento en la operación y mantenimiento de los equipos.
Desgaste en elementos de boom y stick.	Los elementos como bujes y pasadores se realizan sin las especificaciones técnicas.	Durante la reparación.	Los problemas se ven en el taller del proveedor.	Técnico mecánico e ingeniero de mecanización.	Establecer con el proveedor las necesidades técnicas del trabajo / solicitar repuestos originales.
Daño en el motor de arranque y el alternador.	Los elementos del sistema de arranque y alternador son de poca calidad en ciertos equipos.	Durante la reparación.	Los problemas se presentan por los generadores en los cargadores trinunmáticos.	Técnico mecánico e ingeniero de mecanización y proveedor de servicio eléctrico.	Realizar reparación de los componentes del sistema eléctrico con elementos de alta calidad.

## GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La FIGURA 17 presenta la participación de las actividades de mantenimiento preventivo en el total de actividades de mantenimiento durante el periodo 2011-2017 y permite verificar las tendencias al respecto. Cabe precisar que se trata de actividades complementarias con las de mantenimiento correctivo, esto quiere decir, por ejemplo, que si el arrastrador de troncos en 2014 tuvo el 66 % de intervenciones de carácter preventivo, el 34 % restante corresponde a actividades correctivas.



**Figura 17. Participación del mantenimiento preventivo según familia de equipos 2012-2017**

La tendencia a la mejora en el mantenimiento preventivo se puede apreciar en las categorías de: tractor cargador, cargador trineumático, winche, excavadora y arrastrador de troncos. Como varios de los equipos críticos y semicríticos trabajan en serie, es bastante probable que si existe una tendencia hacia la mejora en el mantenimiento preventivo de un winche, a raíz de la avería de una grúa o un tractor cargador no se pueda completar el ciclo de despacho de la madera. De acuerdo con este análisis se puede observar alta variabilidad en el mantenimiento preventivo y afirmar que aun cuando la mayoría de los equipos

recibe intervenciones de manera preventiva, estas no siempre son completas y bien ejecutadas.

Dado que el objetivo de este caso de estudio es mejorar la gestión del mantenimiento tomando como referencia a los modelos de gestión de esta área descritos en el marco teórico y disminuir la brecha ente la teoría y la práctica con base en: las capacidades y recursos de la compañía, la estructura jerárquica, el plan de reposición de equipos, el perfil de los técnicos y los operadores, la cultura organizacional, la edad de los equipos y la información técnica disponible, se preparó la TABLA 6, en la cual compara la situación actual de la

**Tabla 6. Situación actual de la empresa versus modelos teóricos de gestión de mantenimiento**

Temas		Situación actual	Tsang (2002)	Garrido (2003)	Cholasuke et al., (2004)	Étiét al., (2006)	Crespo (2007)	Simões et al., (2011)	Khazraei y Deuse (2011)	Viveros et al., (2013)	Kumar et al., (2013)	Fraser (2014)
Políticas, estrategias y objetivos	Políticas, estrategias y objetivos	2	Δ	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ		
Impacto de los equipos en la línea de producción	Criticidad de equipos / cuello de botella	1		Δ						Δ		
	Análisis de causa raíz	1		Δ			Δ			Δ		
Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios	Mantenimiento preventivo	2	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
	Mantenimiento basado en la condición	1	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ			Δ
	Despliegue de la función de calidad	1	Δ	Δ		Δ		Δ				
	Mantenimiento productivo total	1	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ
Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento	Mantenimiento centrado en la confiabilidad	1	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ		Δ
	Programación a corto y mediano plazo	1		Δ								
	Indicadores clave de desempeño	1	Δ	Δ	Δ			Δ		Δ	Δ	
	Gestión de mantenimiento basado en computador	1	Δ	Δ		Δ	Δ			Δ		
Gestión del recurso humano	Formación del personal	1	Δ	Δ	Δ			Δ				
	Participación del personal	2	Δ	Δ	Δ							
	Evaluaciones del desempeño	2	Δ	Δ	Δ							
	Satisfacción del personal	2	Δ	Δ	Δ							

compañía frente a los modelos que se ajustan al área de interés de gestión de mantenimiento, y se presentan temas en común que puede tener aplicación en la compañía. En dicha tabla, la calificación del estado actual respecto de los modelos se da en un rango de 1 a 4, donde 1 es la más baja. Cabe mencionar que esta tabla es además la guía utilizada para estructurar la propuesta de gestión de mantenimiento.

En el tema de políticas, estrategias y objetivos, el 60 % de los autores consultados está de acuerdo en el despliegue de las políticas de la organización y lo consideran importante para el éxito de la gestión de mantenimiento, por este motivo se encuentra en la parte inicial de la tabla; se asigna una calificación de dos puntos, debido a las mejoras y ajustes que se deben realizar.

La gestión de mantenimiento se debe preparar para conocer el impacto de cada uno de los equipos en su línea de producción en lo relativo al concepto de criticidad y a las causas raíz de los problemas. Respectivamente, el 20 % y el 30 % de los autores abarca estos dos conceptos, cuya importancia radica en que si son desarrollados con éxito por el equipo de mantenimiento, generan un impacto positivo en la disponibilidad de los equipos y con ello una operación más confiable.

Las áreas de diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios son la parte central de la propuesta porque presentan diferentes tácticas o estrategias que se pueden aplicar para incrementar la disponibilidad de los equipos, esta se compone de seis temas: RCM, despliegue de la función de la calidad [QFD, *Quality Function Deployment*], CBM, monitoreo por condición [*Condition Monitoring*, CM], mantenimiento preventivo y TPM.

Se puede inferir que, debido a que el 80 % de los autores coincide en trabajar con RCM, este debería ser un camino a recorrer; sin embargo, actualmente en la compañía no se aplica y para llegar a él se necesita realizar una serie de pasos previos de capacitación y formación al grupo de gestión de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo es nombrado por el 70% de los autores y es la parte estructural de todos planes de mantenimiento, inicialmente entonces la propuesta de investigación debe ser muy fuerte en este aspecto para que tengan éxito los pasos que se deriven de ella. El CBM es estudiado por el 60% de los autores, en este método se aplica el monitoreo directo a la condición mecánica, la eficiencia del sistema y otros indicadores para predecir el tiempo actual de la falla o la pérdida de eficiencia (Fraser, 2014), para llevar a cabo este método

se debe invertir en tecnología, instalar accesorios adicionales a los equipos y adquirir elementos de medición de vibraciones, temperatura y detección de fugas; el QFD es tratado por el 40 % de los autores, sus metas fundamentales consisten en el mejoramiento continuo y la reducción del desperdicio, tiene una relación estrecha con el TPM –a su vez tratado por el 90% de los autores–.

Esta última técnica se inició en Japón en los setenta y ha sido muy exitosa en las empresas de ese país, requiere de cambios culturales que implican actitudes particulares de los trabajadores hacia la importancia de la eliminación de desperdicios y la producción de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de los clientes en el contexto de las cadenas cliente-proveedor (Fraser, 2014).

Las técnicas anteriores han seguido una secuencia lógica de desarrollo, ellas se relacionan estrechamente; aunque su nombre puede cambiar, en el fondo se trata de eliminar los desperdicios y mejorar en los procesos de satisfacción de las necesidades de los clientes. En el área de programación de mantenimiento, Garrido (2003) es el único que trata acerca de la programación a corto y mediano plazo, un aspecto vital para realizar una buena ejecución de las actividades de mantenimiento y evitar reprocesos.

Los temas respecto de la evaluación y el control de la ejecución de mantenimiento son tres: la programación a corto y mediano plazo, los indicadores de desempeño [*Key Performance Indicator*, KPI] y la gestión de mantenimiento basado en computador [*Computerized Maintenance Management System*, CMMS]. De los autores revisados, solo Garrido (2003) aborda el primero de ellos, mientras que el 60 % se concentra en los KPI.

Para lograr esta última métrica se debe capacitar a las personas en el “cómo” y el “para que” de estos indicadores y asumirlos como un aliado, no como una camisa de fuerza para colocar un número. Los KPI, una vez que se formalizan, se deben generar desde el software de la compañía, por ellos el siguiente tema es el CMMS, un punto relevante en la gestión del mantenimiento para realizar actividades de planeación, programación, KPI y actividades complementarias que permitan facilitar el trabajo.

El área de conocimiento de la gestión del recurso humano se ha dividido en los temas de formación de personal, participación del personal, evaluación de desempeño y satisfacción del personal, se considera una parte activa de la gestión de mantenimiento (el tema es tratado por el 30 % de los autores).

## PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

### BRECHAS PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Para realizar la propuesta de gestión de mantenimiento se necesita obtener información de sus usuarios. Para este fin se aplicaron encuestas y se realizaron entrevistas con operadores de los equipos, técnicos mecánicos y supervisores, en donde se abordaron los siguientes temas: políticas, estrategias y objetivos en el proceso de mecanización; impacto de los equipos en la línea de producción; enfoque de mantenimiento; identificación de trabajos a realizar; planificación y programación de actividades; ejecución de actividades; gestión de recursos humanos; gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento informatizados; aspectos económicos; y mejoramiento continuo. Las brechas que existen en cada uno de los temas se pueden apreciar en las gráficas de radar que se presentan en las FIGURAS 18 a 27, cada una de ellas corresponde a uno de los temas abordados.

- **POLÍTICAS, ESTRATEGIAS Y OBJETIVOS.** En el proceso de mecanización se tienen oportunidades grandes de mejora para alinear a las personas involucradas en él. Trabajando en el diagrama de radar de la FIGURA 18 los operadores y supervisores entenderán: en qué consiste el plan de mantenimiento; cuáles son los recursos y las personas que están para atender el mantenimiento; cuál es el rol del operador en la operación y el mantenimiento; cómo se mide el desempeño y cuál debe ser el cuidado al equipo. Según el nivel de criticidad y edad del equipo, el plan de mantenimiento puede ser diferente para equipos de similares características. Se enseñarán los métodos de mantenimiento que se proponen para los equipos, los cuidados al medio ambiente y la seguridad en el trabajo.
- **IMPACTO DE LOS EQUIPOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.** El diagrama de radar de la FIGURA 19 trata los puntos necesarios para que las acciones de ejecución del mantenimiento, calidad e instalación del repuesto, diagnóstico, tiempo de respuesta, análisis de la causa de falla y suministro de repuestos básicos generen poco tiempo de inactividad en el proceso de producción.
- **ENFOQUE DE MANTENIMIENTO.** El diagrama de radar de la FIGURA 20 sugiere aspectos como las técnicas y tipos de mantenimiento; la carta de lubricación y engrase del equipo; las actividades que se realizan cada

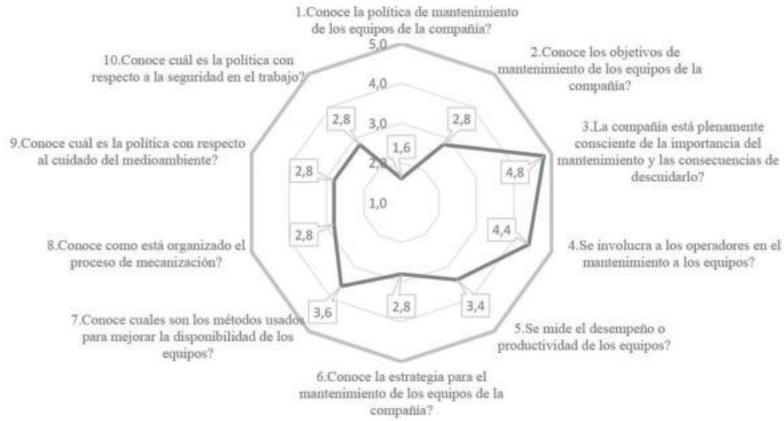
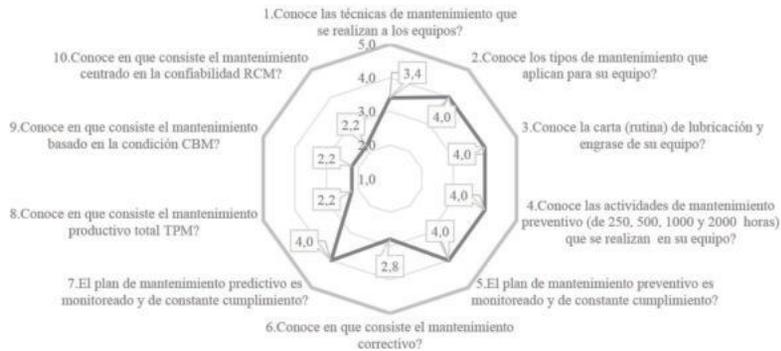


Figura 18. Políticas, estrategias y objetivos

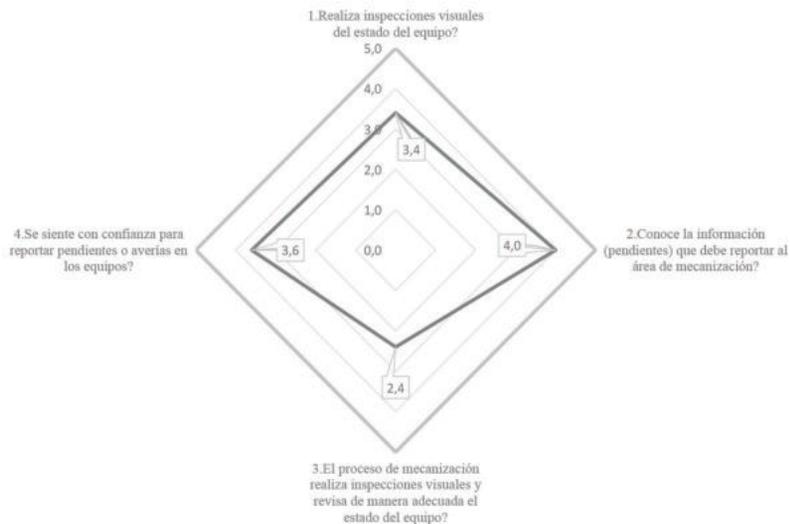


Figura 19. Impacto de los equipos en la línea de producción

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal



**Figura 20. Enfoque de mantenimiento**



**Figura 21. Identificación de trabajos a realizar**

periodo fijo de operación (250H, 500H, 1000H y 2000H); y el plan de mantenimiento preventivo, predictivo y por condición.

- **IDENTIFICACIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR.** Por medio del diagrama de radar de la FIGURA 21 se quiere que el operador y el técnico mecánico adquieran destrezas en la inspección visual del estado del equipo, para que esta información sea recopilada al realizar la planeación de las actividades.
- **PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES.** En el diagrama de radar de la FIGURA 22 se evalúa la calidad de la planeación, de la comunicación entre mecanización y cosecha y del cumplimiento de la programación.
- **EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES.** La intención del diagrama de radar de la FIGURA 23 es ejecutar las actividades eficientemente e inicia con aspectos básicos como son: la limpieza; el mantenimiento preventivo; el nivel de satisfacción y el tiempo de calidad por la actividad realizada; y la prevención de reprocesos por falta de repuestos, de herramienta o por desconocimiento técnico.
- **GESTIÓN DEL RECURSO HUMANO.** Para lograr todo lo anterior es imprescindible apoyarse en las personas; en el diagrama de radar de la FIGURA 24 se busca motivar, retroalimentar, reconocer y entrenar a las personas involucradas en los procesos de operación y mantenimiento.
- **INFORMACIÓN Y SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INFORMATIZADO.** Como se observa en el diagrama de radar de la FIGURA 25, se desea que la compañía genere a través del software los documentos de mantenimiento y retroalimiente el sistema, de tal manera que se convierta en una herramienta de planificación, para que así el técnico realice las intervenciones con información técnica de mejor calidad.
- **ASPECTOS ECONÓMICOS.** El diagrama de radar de la FIGURA 26 pretende que el operador y el técnico mecánico se concienticen de que los daños en los equipos son costosos pues se deja de producir y la compañía pierde dinero.
- **MEJORAMIENTO CONTINUO.** El radar de la FIGURA 27 corresponde a cuestiones básicas, a realizar mejoras como son: la asignación de un equipo a un operador; el conocimiento del manual de operación y mantenimiento; la buena comunicación entre pares y superiores; los planes de mejoramiento de los equipos; y la retroalimentación por parte de mecanización a las empresas contratistas.

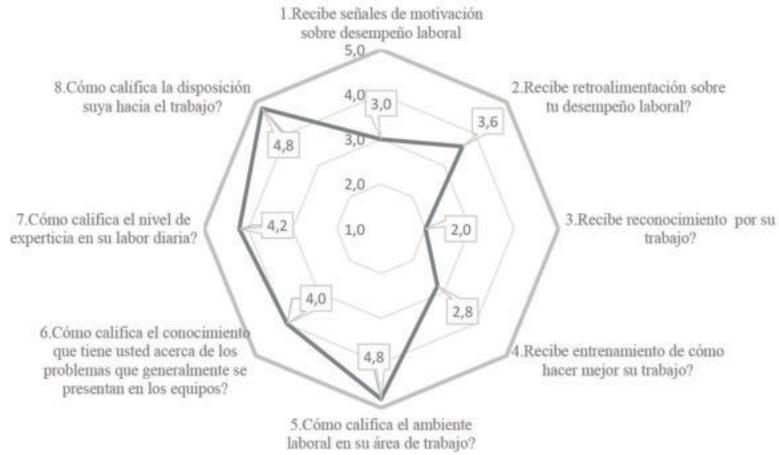
## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal



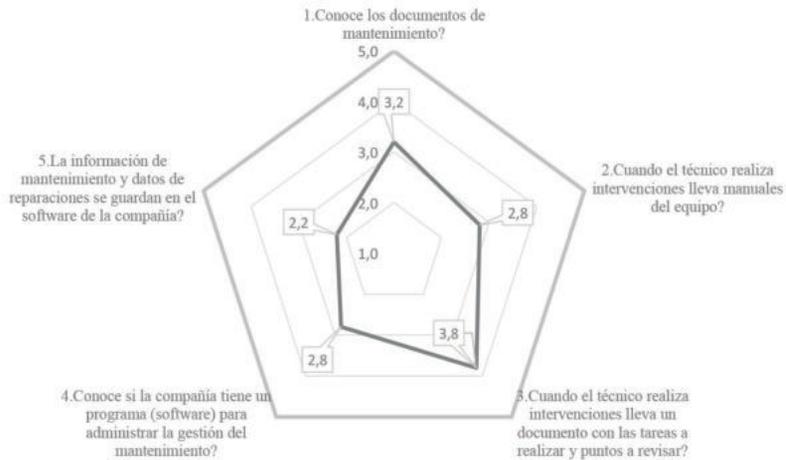
**Figura 22. Planificación y programación de actividades**



**Figura 23. Ejecución de actividades**

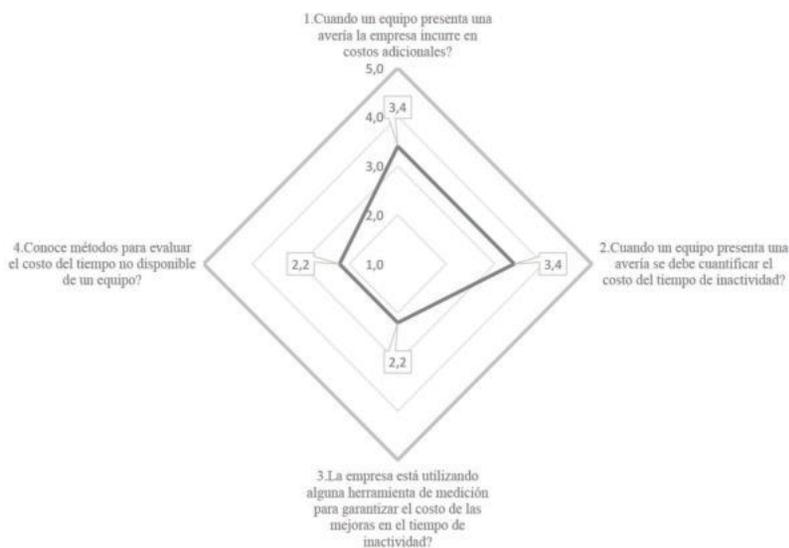


**Figura 24. Gestión de los recursos humanos**



**Figura 25. Gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento**

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal



**Figura 26. Aspectos económicos**



**Figura 27. Mejoramiento continuo**

## PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La presente propuesta interviene los problemas de baja disponibilidad mecánica, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos de manera gerencial y sigue con la aplicación de metodologías administrativas que generan tácticas y estrategias para ser aplicadas por el personal de producción y mantenimiento.

Esta propuesta se conforma de un *roadmap*, una matriz 5W-1H para la gestión del mantenimiento y un cronograma de actividades, y se fundamenta en la integración de los diagramas circulares realizados a las familias de equipos, en donde se visualiza, por medio de un análisis de Pareto, los sistemas y componentes que más presentan averías. El comportamiento del mantenimiento preventivo y correctivo en el periodo 2012 - 2017, la tabulación y el análisis de las encuestas realizadas a los operadores muestra una brecha para desarrollar los avances; por medio de los análisis 5W-1H se pueden identificar las causas de la averías en las familias de equipos y plantear la gestión del mantenimiento.

El *roadmap* de la FIGURA 28 refleja los caminos guía que van desde la posición actual al destino deseado; representa la aplicación de la estrategia y refleja los hitos u objetivos de todas las perspectivas de análisis que se consideran en dicha estrategia. El esquema del *roadmap* se plasma en dos ejes: uno vertical, en donde se reflejan aspectos o perspectivas que se van a analizar, y otro horizontal, en el cual se determinan los tramos de horizonte que se van a considerar en la reflexión.

El *roadmap* final muestra el camino que se debe seguir desde el hoy (*as is*) hasta la visión de futuro a largo plazo que se quiere construir (*to be*); se deben marcar los hitos que se desean alcanzar en cada una de las perspectivas en un horizonte que se divide en tres tramos diferenciados: certezas o corto plazo; apuestas o medio plazo; e incertidumbre o largo plazo (Berritzen, 2011). La estructura de este *roadmap* tiene como fundamento lo expresado en las TABLAS 2 y 6.

Con base en los resultados de la encuesta se preparó la matriz 5W-1H para la propuesta de gestión de mantenimiento (TABLA 7). Cabe recordar que esta es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar seis preguntas básicas: qué, por qué, cuándo, dónde, quién y cómo; puede considerarse como una lista de verificación mediante la cual es posible generar estrategias para implementar mejoras (Trias et al., 2009).



**Tabla 7. Matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento**

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quién?	Cómo?
Involucrar en la operación a operadores, supervisores y técnicos acerca del impacto de los equipos en la línea de producción.	Se piensa que los equipos son elementos aislados en la cadena de suministro de madera.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	En cada uno de los frentes de trabajo y en el taller.	Ingenieros de mecanización y técnicos.	Definir tareas de mantenimiento por familia de equipos; planear actividades de mantenimiento preventivo y correctivo; alistar materiales; suministrar al operador repuestos de fácil instalación y evitar averías del equipo; mantener en el almacén repuestos críticos, con máximos y mínimos; capacitar a técnicos en hidráulica y electricidad automotriz; capacitar a operadores en cuidado básico de los equipos; capacitar a técnicos y operadores en análisis de causa raíz.
Mejorar el enfoque de mantenimiento para los equipos.	Por costumbre se está atendiendo equipos cuando sufre la avería.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	La acción se va a realizar con cada uno de los técnicos mecánicos.	Ingenieros de mecanización y proveedores de lubricantes.	Definir rutinas de lubricación y engrase de los equipos; definir tareas de mantenimiento preventivo cada 250H, 500H, 1000H y 2000H para cada familia de equipo; aplicar metodología TPM a las operaciones diarias de trabajo; actividades de CBM y RCM.
Planear los trabajos a realizar a los equipos.	Pequeños desajustes generan averías.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	La acción se va a realizar con los técnicos mecánicos.	Ingenieros de mecanización.	Desarrollar actividades de identificación de las tareas pendientes de los equipos con los técnicos mecánicos y en conjunto con los operadores
Mejorar la planificación y programación de actividades.	Se improvisa en la planificación y programación de actividades.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	La acción se va a realizar con cada uno de los técnicos mecánicos.	Ingenieros de mecanización.	Capacitar en planificación y programación de las actividades, contemplando: tiempo real, mano de obra, herramientas, repuestos, periodicidad, ejecución de actividades a corto y mediano plazo (listas de chequeo, ordenes de trabajo).
Mejorar en la ejecución de actividades.	Se generan reprocesos e inconformidad con el servicio prestado a los clientes.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	La acción se va a realizar con cada uno de los técnicos mecánicos.	Ingenieros de mecanización.	Capacitar a operadores y técnicos mecánicos en cuidados básicos de los equipos, tales como limpieza e inspección visual, definición de herramientas para ejecutar actividades en el campo y el taller y gestión de los repuestos necesarios por cada familia de equipos.

**Tabla 7. Matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento (continuación)**

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quién?	Cómo?
Mejorar y potenciar el perfil del recurso humano.	Operadores y técnicos tienen bajo nivel educativo y pocas habilidades en liderazgo y comunicación.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	A los técnicos operadores de equipos.	Ingenieros de mecanización.	Capacitar a los operadores de equipos y técnicos mecánicos en liderazgo, autoestima, motivación, trabajo en equipo, comunicación efectiva y toma de decisiones, adicional a la formación en aspectos técnicos de la operación.
Integrar la información y sistemas ERP a la gestión del mantenimiento.	No se pueden explotar las ventajas del software, porque se subutiliza.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	En la compañía.	Ingenieros y auxiliares.	Capacitar en el módulo de mantenimiento del software que la compañía utiliza.
Incentivar a operadores y técnicos en disminuir los costos por averías.	Operadores y técnicos no consideran pérdida económica al momento de la falla.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	A técnicos y operadores de equipos.	Ingenieros de mecanización.	Capacitar a los operadores y técnicos acerca de los costos que se generan cuando un equipo tiene una avería y el valor de la producción no realizada.
Mejorar continuamente en las actividades de operación y mantenimiento.	Las actividades se realizan sin la conciencia de poder hacerse mejor.	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia.	En el proceso de mecanización.	Ingenieros de mecanización.	Realizar formación enfocada en la retroalimentación y la comunicación acerca de las mejoras realizadas en los equipos; explicar en qué consiste el mejoramiento continuo en esta organización.

El cronograma (TABLA 8) contempla las actividades que se van a realizar durante un periodo de tres años toma la información proveniente de la matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

Se elaboró una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de producción de la división forestal de la empresa con el fin de resolver sus problemas de disponibilidad de equipos, que puede hacerse extensiva a empresas de similares características. Con lo propuesto se obtuvo una visión más amplia del proceso y se evidenciaron oportunidades de mejora que en el pasado se obviaban.

En la actual gestión del mantenimiento de los equipos de la división, el único indicador de desempeño utilizado es el porcentaje de disponibilidad, cuando podrían ser incluidos otros muy usuales, como es el caso del MTBF y el MTTR. Se puede concluir entonces que no se está midiendo correctamente, según lo expresado por los autores consultados.

El 50 % de las intervenciones son correctivas y el 50 % son preventivas con alguna deficiencia en la ejecución; la planeación, programación y ejecución de las actividades no se integran, lo que ocasiona improvisación al realizar los trabajos y el incumplimiento de actividades previamente planeadas cuando aparece una emergencia, creando así un círculo vicioso.

El resultado de dividir el número de intervenciones por familia de equipos entre el número de equipos permite concluir que los técnicos mecánicos deben tener conocimientos sólidos en sistemas hidráulicos, revisión de las estructuras (*boom* y *stick*, chasis y cabina) y sistemas eléctricos, por tanto, se necesita formarlos en evaluación y diagnóstico de sistemas hidráulicos y eléctricos y en la revisión por desgaste en las estructuras de los equipos.

La familia de cargadores trineumáticos consta de 43 equipos y tiene el promedio más alto de intervenciones en el sistema estructura (*boom* y *stick*), por ello requiere de un planteamiento especial en dicho sistema, con inspecciones visuales, lubricación, mantenimiento preventivo y predictivo y alistamiento de repuestos para evitar los tiempos de inactividad por esta causa.

Los sistemas de cargue, eléctrico, estructura e hidráulica presentan, respectivamente, intervenciones de 20 %, 43 %, 51 % y 70 %; en consecuencia,

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

**Tabla 8. Cronograma**

Actividades	Año 1						Año 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Planear actividades de mantenimiento preventivo y correctivo	Δ	Δ	Δ															
Definir tareas de mantenimiento preventivo por cada 250H, 500H, 1000H y 2000H para cada familia de equipo.	Δ	Δ	Δ	Δ														
Definir repuestos en equipos críticos y semicríticos, que se tengan en el equipo y sean de fácil instalación para evitar averías del equipo.	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ													
Establecer repuestos de alta rotación en almacén con máximos y mínimos					Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ								
Capacitar a técnicos mecánicos en hidráulica y electricidad automotriz									Δ	Δ	Δ							
Capacitar a operadores y técnicos mecánicos sobre los cuidados básicos de los equipos, enfocándose en la limpieza e inspecciones visuales.	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ									
Capacitar a técnicos y operadores en análisis de causa raíz de las averías											Δ	Δ	Δ	Δ				
Definir rutinas de lubricación y engrase de los equipos	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ													
Aplicar la metodología de TPM en la operaciones del trabajo.		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Realizar actividades con técnicos mecánicos y operadores en campo para identificación de las tareas pendientes en los equipos.	Δ	Δ	Δ					Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ				
Capacitar a técnicos en planificación y programación de actividades contemplando variables como: tiempo de ejecución, mano de obra, herramientas, repuestos, periodicidad, programación a corto y mediano plazo (listas de chequeo, ordenes de trabajo)																		
Definir indicadores para evaluar el desempeño en las intervenciones al equipo.	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Revisar tipos de herramienta necesarios para ejecución de actividades en campo y taller	Δ	Δ						Δ	Δ									
Establecer los repuestos necesarios por cada familia de equipos					Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ							
Capacitar en liderazgo, autoestima, motivación, trabajo en equipo, comunicación efectiva y toma de decisiones a operarios y técnicos mecánicos					Δ				Δ									
Capacitar a ingenieros y auxiliares en módulo de mantenimiento del ERP en uso	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Capacitar acerca de los costos que se generan cuando un equipo tiene una avería y el valor de la pérdida de producción.					Δ				Δ									
Capacitar y retroalimentar a operadores sobre mejoras realizadas en los equipos,					Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Formar al personal con base en la metodología de mejoramiento continuo	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

**Tabla 8. Cronograma (continuación)**

Actividades	Año 2												Año 3											
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
Planear actividades de mantenimiento preventivo y correctivo																								
Definir tareas de mantenimiento preventivo por cada 250H, 500H, 1000H y 2000H para cada familia de equipo.																								
Definir repuestos en equipos críticos y semicríticos, que se tengan en el equipo y sean de fácil instalación para evitar averías del equipo.																								
Establecer repuestos de alta rotación en almacén con máximos y mínimos																								
Capacitar a técnicos mecánicos en hidráulica y electricidad automotriz																								
Capacitar a operadores y técnicos mecánicos sobre los cuidados básicos de los equipos, enfocándose en la limpieza e inspecciones visuales.																								
Capacitar a técnicos y operadores en análisis de causa raíz de las averías																								
Definir rutinas de lubricación y engrase de los equipos																								
Aplicar la metodología de TPM en la operaciones del trabajo.																								
Realizar actividades con técnicos mecánicos y operadores en campo para identificación de las tareas pendientes en los equipos.																								
Capacitar a técnicos en planificación y programación de actividades contemplando variables como: tiempo de ejecución, mano de obra, herramientas, repuestos, periodicidad, programación a corto y mediano plazo (listas de chequeo, ordenes de trabajo)																								
Definir indicadores para evaluar el desempeño en las intervenciones al equipo.																								
Revisar tipos de herramienta necesarios para ejecución de actividades en campo y taller																								
Establecer los repuestos necesarios por cada familia de equipos																								
Capacitar en liderazgo, autoestima, motivación, trabajo en equipo, comunicación efectiva y toma de decisiones a operarios y técnicos mecánicos																								
Capacitar a ingenieros y auxiliares en módulo de mantenimiento del ERP en uso																								
Capacitar acerca de los costos que se generan cuando un equipo tiene una avería y el valor de la pérdida de producción.																								
Capacitar y retroalimentar a operadores sobre mejoras realizadas en los equipos,																								
Formar al personal con base en la metodología de mejoramiento continuo																								

estos equipos semicríticos necesitan de un plan de seguimiento y control en la operación y mantenimiento, por lo que se debe realizar un trabajo conjunto con el grupo de producción para entrenar a los operadores, estructurar un proceso de selección de operadores y realizar un plan de mantenimiento preventivo detallado para estos equipos.

Las grúa de cargue, las excavadoras y los cargadores trineumáticos presentan respectivamente 81 %, 75 % y 68 % en intervenciones al sistema hidráulico, por lo tanto resulta necesario establecer una rutina de revisiones a las mangueras, los cilindros, las bombas y los motores hidráulicos para reducir sus costos de mantenimiento y mejorar su disponibilidad.

Los sistemas de potencia en todos los equipos presentan pocas intervenciones, se infiere que han sido bien calculados y seleccionados por los fabricantes de los equipos, este es un caso contrario a lo que ocurre con los sistemas eléctricos del cargador trineumático.

En el sistema hidráulico de las excavadoras, el arrastrador de troncos, el cargador trineumático, la grúa y el tractor cargador, el componente mangueras representa los porcentaje más altos de las intervenciones y los costos más altos de éste sistema. Ambos porcentajes se pueden reducir mejorando la operación y la calidad de las mangueras y protegiéndolas de elementos extraños. Además, al controlar esta variable, se disminuye lo correspondiente al sistema de aceite, se mejora la disponibilidad de los equipos y se reducen los costos de mantenimiento.

Los sistema eléctricos de las grúas de cargue, los cargadores trineumáticos, los tractores cargadores, las torres de maderero y los winches son muy sensibles en sus componentes de motor de arranque, alternador e instalación eléctrica y luces, en consecuencia, se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo eléctrico con el soporte de un proveedor experto en el tema.

De acuerdo con este análisis, se puede observar una alta variabilidad en el mantenimiento preventivo y se puede concluir que aunque la mayoría de los equipos recibe intervenciones preventivas, estas no siempre son completas y bien ejecutadas, por lo que su complemento se realiza de manera correctiva.

De la comparación de la situación actual frente a los modelos de gestión de mantenimiento más recientes, se puede concluir que se necesita, de manera urgente: implementar las políticas, estrategias y objetivos; definir el impacto de los equipos en la línea de producción; diseñar los planes de mantenimiento y su

evaluación y control; y preparar al recurso humano para generar mejoras que en este momento pueden ser difíciles de cuantificar.

Para llevar a cabo esta propuesta no es suficiente con las personas que actualmente conforman el equipo, se debe contar con recursos humanos y económicos adicionales, por lo que la gerencia debe definir su asignación.

La formulación de la encuesta buscó tener una secuencia lógica para llevar a cabo la gestión del mantenimiento, si bien sus resultados arrojaron un balance similar al esperado, ahora se cuenta con un soporte real para iniciar la implementación de las mejoras que están en función del ingeniero de mantenimiento.

A la información que fue obtenida del software de la empresa se le realizó un tratamiento muy rudimentario por lo que existe la probabilidad de cometer errores al realizar el direccionamiento para el respectivo análisis, por ello se recomienda capacitarse y solicitar los permisos respectivos de transacciones en la utilización del software.

Se recomienda trabajar en la gestión de inventarios y repuestos, normalmente se presenta desabastecimiento de algunos repuestos, lo que genera demoras en las intervenciones; se podría pensar en un modelo de pronóstico aplicado a los repuestos más representativos.

Es válido que la criticidad se obtuvo por medio cualitativos, pero se recomienda realizar la matriz de criticidad con medios cuantitativos y valorar las frecuencias y consecuencias para darle más elementos de peso a este concepto

Para futuras investigaciones, sería interesante medir la OEE, trabajar con RCM, estructurar el proceso para implementar TPM, estudiar la ISO 55000:2014 y realizar un modelo matemático que involucre a los componentes de los equipos (motores de arranque, alternadores, turbinas, tensores de correa, bombas hidráulicas) para realizar su mantenimiento predictivo.

## REFERENCIAS

- Ayo-Imoru, R. M. & Cilliers, A. C. (2018). A survey of the state of condition-based maintenance (CBM) in the nuclear power industry. *Annals of Nuclear Energy*, 112, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.10.010>
- Berritzen, G. (2011). *Roadmapping: una herramienta para definir estrategias de I + D + i de éxito*. Agencia Vasca de la Innovación.

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

- Cassady, C. R., Murdock, M. W. P., A, J. N., & Pohl, E. A. (1998). Comprehensive fleet maintenance management. *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* [Cat. No.98CH36218], 4665-4669. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.1998.727588>
- Chesworth, D. (2018). *Industry 4.0 techniques as a maintenance strategy*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18116.32644>
- Cholasuke, C., Bhardwa, R., & Antony, J. (2004). The status of maintenance management in UK manufacturing organizations: Results from a pilot survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(1), 5-15. <https://doi.org/10.1108/13552510410526820>
- Crespo, A. (2007). *The maintenance management framework: Models and methods for complex symplex maintenance*. Springer.
- Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 51, 229-240.
- Exner, K., Schnürmacher, C., Adolphy, S., & Stark, R. (2017). Proactive Maintenance as Success Factor for Use-Oriented Product-Service Systems. *Procedia CIRP*, 64, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.024>
- Fraser, K. (2014). Facilities management: The strategic selection of a maintenance system. *Journal of Facilities Management*, 12(1), 18-37. <https://doi.org/10.1108/JFM-02-2013-0010>
- Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: Literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205-238. <https://doi.org/10.1108/13552510610685075>
- Garrido, G. S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Diaz de Santos.
- Government of Canada. (2000). *Maintenance management systems*. <http://publications.gc.ca/collections/Collection/P25-5-2-2000E.pdf>
- Gestión de activos: aspectos generales, principios y terminología* [ISO 55000: 2014]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>
- Khazraei, K. & Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Facilities Management*, 9(1), 96-113. <https://doi.org/10.1108/14725961111128452>
- Lewis, M. W. & Steinberg, L. (2001). Maintenance of mobile mine equipment in the information age. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(4), 264-274. <https://doi.org/10.1108/13552510110407050//>
- Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2015). Lean maintenance roadmap. *Procedia Manufacturing*, 2, 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.076>
- Organ, M., Whitehead, T., Evans, M., Organ, M., Whitehead, T., & Evans, M. (1997). Availability- based maintenance within an asset management programme. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4), 221-232.
- Rawat, M., & Lad, B. K. (2015). An integrated approach for fleet level maintenance planning. *International Journal of Performability Engineering*, 11(3), 229-242.

- Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 116-137. <https://doi.org/10.1108/13552511111134565>
- Smith, A. (2006). *Reliability-centered maintenance*. McGraw-Hill.
- Trias, M., Fajardo, S., Flores, L. & González, P. (2009). Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos. *Innotec*, 1, 21-27. <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC-Gestion/article/view/5/4>
- Tsang, A. H. C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7-39. <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista Chilena de Ingeniería*, 21(1), 125-138.

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

### Anexo 1. Encuesta sobre la percepción de la gestión de mantenimiento en la empresa

Temas		1*	2	3	4	5
Políticas, estrategias y objetivos en el proceso de mecanización	Conoce la política de mantenimiento de los equipos de la compañía					
	Conoce los objetivos de mantenimiento de los equipos de la compañía					
	La compañía está plenamente consciente de la importancia del mantenimiento y las consecuencias de descuidarlo					
	Se involucra a los operadores en el mantenimiento a los equipos					
	Se mide el desempeño o productividad de los equipos					
	Conoce la estrategia para el mantenimiento de los equipos de la compañía					
	Conoce cuales son los métodos usados para mejorar la disponibilidad de los equipos					
	Conoce como está organizado el proceso de mecanización					
	Conoce cuál es la política con respecto al cuidado del medioambiente					
	Conoce la política con respecto a la seguridad en el trabajo					
Impacto de los equipos en la línea de producción	Las fallas en los equipos no se deben a tareas de mantenimiento que se realizan de manera incompletas					
	Las fallas en los equipos no se deben a repuestos de baja calidad					
	Las fallas en los equipos no se deben a montaje inadecuado de repuestos					
	Las fallas en los equipos no se deben a diagnóstico equivocado o error humano					
	Cuando hay fallas en los equipos, el tiempo de respuesta es bueno					
	Las fallas en los equipos se analizan para que no se repitan					
	Cuenta con una cantidad mínima de repuestos para utilizarlos en caso de una avería menor (correas, mangueras, tornillos, cuñas...)					
	Ha escuchado acerca de equipos críticos o cuellos de botella en la línea de producción					
Enfoque de mantenimiento	Conoce las técnicas de mantenimiento que se realizan a los equipos					
	Conoce los tipos de mantenimiento que aplican para su equipo					

\* Los criterios de valoración, salvo los casos en que se menciona algo particular son: totalmente de acuerdo (5), de acuerdo (4), indiferente o no sabe (3), en desacuerdo (2) y totalmente en desacuerdo (1)

**Anexo 1. Encuesta sobre la percepción de la gestión de mantenimiento en la empresa (continuación)**

Temas		1	2	3	4	5
Enfoque de mantenimiento (cont.)	Conoce la carta (rutina) de lubricación y engrase de su equipo					
	Conoce las actividades de mantenimiento preventivo (de 250, 500, 1000 y 2000 horas) que se realizan en su equipo					
	El plan de mantenimiento preventivo es monitoreado y de constante cumplimiento					
	Conoce en que consiste el mantenimiento correctivo					
	El plan de mantenimiento predictivo es monitoreado y de constante cumplimiento					
	Conoce en que consiste el mantenimiento productivo total TPM					
	Conoce en que consiste el mantenimiento basado en la condición CBM					
	Conoce en que consiste el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM					
Identificación de trabajos a realizar	Realiza inspecciones visuales del estado del equipo					
	Conoce la información (pendientes) que debe reportar al área de mecanización					
	El proceso de mecanización realiza inspecciones visuales y revisa de manera adecuada el estado del equipo					
	Se siente con confianza para reportar pendientes o averías en los equipos					
Planificación y programación de actividades	Las actividades de mantenimiento tienen una planeación previa					
	Se realiza programación (entre cosecha y mecanización) para la intervención de mi equipo					
	El proceso de mecanización realiza una buena planeación de sus actividades en campo					
	Cuando se realiza la programación de una actividad de mantenimiento esta se cumple					
Ejecución de actividades	Realiza limpieza detallada de su equipos y sitio de trabajo					
	Realiza tareas de mantenimiento preventivo					
	Considera que debe existe un estándar para la operación de su equipo					
	Como califica el nivel de satisfacción en el servicio realizado por (operador/supervisor a mecanización y mecanización a operador/supervisor)					
	Considera que el tiempo invertido por mecanización en la intervenciones en campo es el suficiente					
	No se generan muchos reprocesos cuando se realiza una intervención a un equipo					

## Propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal

### Anexo 1. Encuesta sobre la percepción de la gestión de mantenimiento en la empresa (continuación)

Temas		1	2	3	4	5
Ejecución de actividades	Las herramientas de taller que utilizan los técnicos de mecanización están en buen estado y son las adecuadas					
	Cuando se necesita cambiar un repuesto, éste se cambia oportunamente					
	Hay quejas internas o externas acerca de las intervenciones de mantenimiento					
Gestión de recursos humanos	Recibe señales de motivación sobre desempeño laboral					
	Recibe retroalimentación sobre tu desempeño laboral					
	Recibe reconocimiento por su trabajo					
	Recibe entrenamiento de cómo hacer mejor su trabajo					
	El ambiente laboral en su área de trabajo**					
	El conocimiento que tiene usted acerca de los problemas que generalmente se presentan en los equipos**					
	El nivel de experticia en su labor diaria**					
La disposición suya hacia el trabajo**						
Gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento informatizados	Conoce los documentos de mantenimiento					
	Cuando el técnico realiza intervenciones lleva manuales del equipo					
	Cuando el técnico realiza intervenciones lleva un documento con las tareas a realizar y puntos a revisar					
	Conoce si la compañía tiene un programa (software) para administrar la gestión del mantenimiento					
	La información de mantenimiento y datos de reparaciones se guardan en el software de la compañía					
Aspectos económicos	Cuando un equipo presenta una avería la empresa incurre en costos adicionales					
	Cuando un equipo presenta una avería se cuantifica el costo del tiempo de inactividad					
	La empresa está utilizando alguna herramienta de medición para garantizar el costo de las mejoras en el tiempo de inactividad					
	Conoce métodos para evaluar el costo del tiempo no disponible de un equipo					
Mejoramiento continuo	Le asignan la misma máquina específica diariamente					
	Ha leído y tiene en su equipo el manual de operación y mantenimiento					

\*\* En estos cuatro ítem la calificación a la percepción sobre el nivel de la compañía en esa materia: 1 es el valor más bajo de la escala y 5 el más alto.

**Anexo 1. Encuesta sobre la percepción de la gestión de mantenimiento en la empresa (continuación)**

Temas		1	2	3	4	5
Mejoramiento continuo	Piensa que hay un proceso o indicios de mejoramiento continuo en las intervenciones a los equipos por parte de los técnicos					
	Existe un mecanismo de comunicación efectivo entre mecanización y operadores-supervisores para reportar una avería en un equipo					
	Conoce los planes de mejoramiento en el mantenimiento de los equipos					
	Las sugerencias realizadas por los técnicos y operadores se han implementado					
	Existe un mecanismo de retroalimentación por parte de mecanización a los operadores o supervisores					
	Ha recibido entrenamiento para desempeñar mejor su labor					



La preparación de este libro, que estuvo al cuidado de Claros Editores S.A.S., finalizó en junio de 2020. En su preparación, realizada desde la Editorial Universidad Icesi, se emplearon los tipos: Baskerville MT Std de 9, 10 y 12 puntos; Book antigua de 8 puntos; Cambria Math de 12 puntos; Gill Sans MT de 8, 9, 10, 14, 19, 26 puntos; y Times New Roman de 10 puntos.



En la colección “Bitácoras de la Maestría” se presentan los resultados de las investigaciones base del desarrollo de tesis meritorias de la Universidad Icesi, en este caso se incluyen tres trabajos provenientes de la Facultad de Ingeniería, específicamente de la Maestría en Ingeniería Industrial. El factor común de estos trabajos es la gestión –el management–, es decir el uso eficaz y eficiente de los recursos disponibles para el logro de unos objetivos propuestos, tema que se aborda desde tres ópticas, dos de ellas muy prácticas –la gestión del inventario y la gestión del mantenimiento–, y una menos tangible, pero de gran relevancia, la gestión del conocimiento.