



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

***MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS PARA UN
SISTEMA DE ATENCIÓN PRE-HOSPITALARIA***

**Trabajo de investigación
Para optar al título de Magíster en Ingeniería
Línea Ingeniería Industrial**

Presentado por:
VIVIANA CARVAJAL HERNÁNDEZ

Asesores:
GLORIA MILENA OSORNO OSORIO
PABLO ANDRÉS MAYA DUQUE

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Antioquia
Abril 2016

Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de
Antioquia

Calle 70 No. 52 – 21. Of.: 21-404, 050010 – Medellín – Colombia – Tel.: (+574) 219 55 75



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

Al finalizar esta etapa quisiera agradecer...

A mi hermana mayor, quien ha sido mi modelo a seguir. Su ejemplo y fe en mí, inspiran mi vida.

A Alejandro Loaiza por su apoyo emocional y profesional durante este proceso.

A mis padres y hermana menor quienes me han acompañado incondicionalmente.

A mis asesores Pablo Maya y Gloria Osorno por sus valiosos aportes y paciencia en mi proceso de formación académica. Sus enseñanzas han sido incalculables.

Agradezco al grupo de Investigación INCAS y a la Universidad de Antioquia por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, le agradezco a Coomeva Emergencias Médicas por su aporte e interés en el desarrollo de esta investigación.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS PARA UN SISTEMA DE ATENCIÓN PRE-HOSPITALARIA

Los Servicios de Emergencias Médicas-SEM, son sistemas responsables de la estabilización y transporte pre-hospitalario de pacientes con urgencias y emergencias médicas. Para los SEM la gestión de los medicamentos es indispensable, ya que la disponibilidad y el estado de los mismos afecta costos del servicio y tienen un impacto directo en la seguridad del paciente y en la calidad del servicio.

Tomando como referencia a Coomeva Emergencias Médicas, se propone un modelo de gestión de inventarios de medicamentos diseñado específicamente para SEM, el cual, considera las características y necesidades de este tipo de servicios y las características relevantes para la administración de los medicamentos. En el modelo propuesto, se separan los conceptos de reorden y revisión de inventario, y sus parámetros son determinados con base en la adaptación de un modelo de gestión de inventarios con control conjunto y revisión periódica para casos de demanda estocástica, y en revisiones sistemáticas basadas en la priorización del inventario resultante de una Clasificación Multicriterio (CM) de Medicamentos. Las revisiones sistemáticas, reducen el número de referencias de medicamentos que deben ser inspeccionadas por cada turno, pero al mismo tiempo garantizan la revisión de todo el inventario en periodos de tiempo calculados con base en la CM, lo cual se traduce en una disminución del tiempo dedicado a la inspección del inventario y un aumento en el tiempo dedicado a la atención de pacientes.

Palabras Clave: Servicios de Emergencias Médicas, gestión de inventarios, medicamentos, clasificación multicriterio, revisiones sistemáticas.



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	6
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	Objetivo General.....	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	9
3.1.	Antecedentes.....	10
3.2.	Elementos básicos de los modelos de gestión de inventarios para productos perecederos.....	11
3.2.1	Demanda.....	11
3.2.2	Tiempo de reposición.....	11
3.2.3	Tipo de revisión.....	12
3.2.4	Costos asociados.....	12
3.2.5	Clasificación de producto.....	13
3.3.	Modelos de gestión de inventarios para productos perecederos.....	15
3.3.1	Modelos determinísticos de control individual.....	15
3.3.2	Modelos estocásticos de control individual.....	16
3.3.3	Modelos de control conjunto.....	18
3.4.	Métodos para determinar parámetros en modelos de gestión inventarios de productos perecederos.....	18
3.4.1	Modelos exactos.....	19
3.4.2	Metaheurísticas.....	19
3.4.3	Simulación.....	19
3.5.	Hallazgos de la revisión de la literatura.....	20
4	METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	21
4.1.	Contextualización del entorno del sistema estudiado.....	21
4.2.	Definición de las características de las entradas del modelo de gestión de inventarios.....	21
4.2.1	Estimación de la demanda.....	22
4.2.2	Clasificación Multicriterio (CM).....	23
4.3.	Modelo de gestión y control de inventarios de medicamentos para el sistema referencia.....	28
4.4.	Validación de las políticas de gestión y control de inventarios.....	28
5	CONTEXTUALIZACIÓN DEL ENTORNO DEL SISTEMA ESTUDIADO.....	28



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

5.1.	Características generales de los SEM	28
5.2.	Análisis del sistema de referencia.....	30
6	DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENTRADAS DEL MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS.....	33
6.1	Tiempo de reposición (TR).....	33
6.2	Tipo de revisión	33
6.3	Demanda	34
6.4	Clasificación multicriterio.....	36
7	MODELO DE GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS PARA EL CASI DE ESTUDIO.....	40
7.1	Selección modelo de gestión de inventarios	41
7.2	Revisión sistemática del inventario	42
7.3	Políticas de gestión y control de inventarios para CEM.....	44
7.3.1	Ajuste del modelo seleccionado al CEM.....	45
7.3.2	Revisiones sistemáticas CEM.....	46
8	VALIDACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS	48
8.1	Validación hallazgos teóricos del modelo	48
8.2	Prueba piloto	49
9	CONCLUSIONES.....	58
10	BIBLIOGRAFÍA	59
11	ANEXOS.....	64



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

1 INTRODUCCIÓN

Los Servicios de Emergencias Médicas-SEM, son sistemas responsables de la estabilización y transporte prehospitalario de pacientes con urgencias y emergencias médicas [1]. En Colombia, el mejoramiento de los SEM ha sido identificado como una de las prioridades en el fortalecimiento del sistema de salud para el manejo de urgencias, emergencias y desastres [2]. Un proceso fundamental para el funcionamiento de estos sistemas, es la gestión eficiente de los inventarios de medicamentos, el cual además está catalogado como una defensa a las fallas más comunes que conllevan a que se presenten errores en el uso de medicamentos [3], ya que la disponibilidad y el estado de los mismos afectan directamente a los pacientes.

Con el objetivo de conocer y analizar la gestión de medicamentos en los SEM, se estudiaron y diagramaron los procesos relacionados con el aprovisionamiento y consumo de medicamentos en un par de sistemas que sirvieron como referencia para esta investigación. A partir del análisis realizado, se ha identificado de manera general, que en este tipo de sistemas no se realiza una administración eficaz de los medicamentos; evidenciando la presencia de medicamentos con fechas inferiores a las permitidas en cada sistema, artículos averiados y niveles de inventario no acordes con los registros. Específicamente, en uno de los sistemas analizados se encontró que, entre diciembre de 2012 y abril de 2014 se registraron cambios de 599 unidades de medicamentos y 39 unidades fueron desechadas debido a su fecha de vencimiento. Adicionalmente, las revisiones de inventarios realizadas por la administración de dicho sistema, revelaron que en promedio el costo de unidades faltantes y sobrantes representaron un desajuste cercano al 15% en términos de costos, tomando como base el costo total del inventario de medicamentos de cada vehículo. En el sistema mencionado, la administración conoce la existencia de unidades averiadas, pero las mismas no son registradas. Lo anterior acarrea sobrecostos en la operación, y afecta la seguridad del paciente y la calidad del servicio.

Adicionalmente, se consultaron las bases de datos de rendición de cuentas de la red pública hospitalaria Metrosalud, allí se especifica el hallazgo de medicamentos vencidos en diferentes servicios como: salud oral, urgencias, entre otros, lo cual evidencia una mala gestión de inventarios dentro de la institución [4]. Cabe resaltar que la bodega de la red de ambulancias de la secretaría de salud de Medellín, con la cual se atienden las llamadas que llegan al 123 en la ciudad, está adscrita a Metrosalud y su inventario de medicamentos hace parte del inventario de Metrosalud. Las pérdidas ocasionadas por tener una mala administración de inventarios, evidenciadas en la tenencia de medicamentos vencidos dentro de Metrosalud, no sólo son de tipo económico al considerar el valor del medicamento desperdiciado y la incidencia en tratamientos derivados por efectos secundarios, ocasionados por la ingesta de dichos medicamentos vencidos; sino que también afectan la seguridad del paciente por consecuencias en términos de salud e incluso la muerte.

A partir de lo mencionado previamente, se detecta la necesidad de desarrollar un modelo de gestión de inventarios de medicamentos para SEM que considere las características de propias del tipo de artículo a administrar y su entorno, como estrategia de mejora ante la ocurrencia de diferencias entre el inventario consignado en los registros y el inventario



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

en las bodegas y la presencia y permanencia de unidades vencidas y averiadas en el sistema.

Los resultados de esta tesis, contribuyen a la trayectoria de investigación del grupo INCAS-Innovación y gestión de cadenas de abastecimiento- del departamento de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia, en la línea de investigación de logística hospitalaria. Adicionalmente, el modelo de gestión de inventarios de medicamentos presentado a lo largo de este documento, aportó al desarrollo del macro-proyecto: “Plataforma tecnológica para los servicios de tele-asistencia, emergencias médicas, seguimiento y monitoreo permanente a los pacientes y apoyo a los programas de promoción y prevención”, sirviendo como parte de la base de especificación de requisitos funcionales del software de gestión de recursos Appbulancia. El proyecto mencionado, contó con el apoyo de la Alianza Regional en TICS Aplicadas y Rutan N y fue financiado por el fondo Nacional de Regalías. Es importante mencionar que Appbulancia es una solución integrada que incluye la administración de inventarios, el rastreo de equipos médicos y la medición del desempeño en SEM. Sin embargo, en este documento sólo se hará referencia a las funcionalidades del software relacionadas con el modelo de gestión de inventarios plasmado en este trabajo de investigación.

A continuación, se presenta la revisión de la literatura relacionado con el problema identificado. En la sección tres, se presentan los pasos metodológicos planteados para el desarrollo de esta investigación. La sección cuatro, presenta una contextualización del entorno para el cual se diseña el modelo de gestión de inventarios planteado en este documento. En la quinta sección, se describen las características de los parámetros o entradas que deben ser consideradas al seleccionar un modelo de gestión de inventarios, para un sistema particular. En la sección seis, se selecciona y adapta un modelo de gestión de inventarios para un SEM que sirve de referencia para el desarrollo de este trabajo de investigación. A partir del modelo seleccionado, se generan políticas de gestión y control de inventarios que permiten gestionar medicamentos, considerando las características y restricciones inherentes a los SEM. En la séptima sección se presentan las validaciones de este trabajo y en la octava sección se presentan las conclusiones.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de gestión de inventarios de medicamentos para un sistema de atención pre-hospitalaria, que considere las características específicas del tipo de producto y el servicio estudiado, y tenga por objeto de reducir la cantidad de unidades perdidas, en exceso y vencidas, procurando mantener un nivel de servicio acorde con las políticas del sistema objeto de estudio.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión de literatura centrada en de gestión de inventarios para productos perecederos y metodologías de clasificación multicriterio.
- Determinar unas variables de decisión para el modelo de gestión de inventarios, que consideren las características específicas de los medicamentos y las dinámicas de operación del servicio estudiado.
- Diseñar un modelo de gestión de inventarios de medicamentos, genere políticas de inventarios para el sistema estudiado, que permitan contralar la cantidad de unidades perdidas, en exceso y vencidas.
- Validar las políticas de gestión de inventarios generadas del modelo propuesto.



3 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La gestión de inventarios tiene como objetivo administrar y controlar los inventarios en un determinado sistema. El diseño de un modelo de gestión de inventarios, debe responder tres preguntas fundamentales para todos los artículos: cuáles, cuántos y cuándo revisar y ordenar los artículos en el inventario.

Considerando que un elemento determinante para la definición de los sistemas de inventario es el tipo de producto que debe almacenarse, es necesario delimitar esta revisión a los medicamentos. Para ello, se parte de la clasificación de producto presentada por Goyal & Giri [5] [6], en la cual se agrupan los productos con base al tipo de deterioro que presentan: productos que caen en obsolescencia, productos que caen en deterioro y otros (aquellos que no caen ni en obsolescencia ni en deterioro) (Ver *Tabla 1*). De acuerdo a la clasificación de Goyal & Giri, los medicamentos son productos que caen en deterioro y se clasifican como productos perecederos, ya que tienen un tiempo de vida fijo o vida útil establecido por su fecha de vencimiento.

Tabla 1. Clasificación de productos según el tipo de deterioro

Clasificación	Sub-clasificación	Ejemplos
Productos que caen en obsolescencia: productos que pierden su valor súbitamente por condiciones externas al producto, como cambios en la tecnología o cambios de temporadas	No aplica	Ropa, computadores, etc.
Productos que caen en deterioro: productos que pueden sufrir deterioro o degeneración.	Productos perecederos: son aquellos que tienen un tiempo de vida fijo o fecha de vencimiento durante el cual su utilidad es constante, luego de esto su utilidad es cero.	Medicamentos, sangre, vegetales, etc.
	Productos deteriorables: son aquellos que no tienen tiempo de vida predeterminado, ni tiempo máximo de uso, sin embargo se deterioran gradualmente en función del tiempo, perdiendo sus propiedades.	Alcohol, gasolina, productos radioactivos, etc.
Otros: son aquellos que no tienen pre-establecido un tiempo máximo de uso.	No aplica	Llantas, productos de plástico, etc.

En la literatura consultada se encontraron pocas referencias enfocados en la gestión de inventarios de medicamentos específicamente, es por esta razón que la orientación de esta



revisión es en productos que caen en deterioro, de manera particular aquellos que son de tipo perecedero.

La información presentada a continuación, ha sido recopilada a través de una búsqueda en las bases de datos ScienceDirect, Scopus y Springer. Se usaron como términos de búsqueda, combinaciones de las palabras: “*Inventory management*”, “*Perishable*”, “*Medication*” y “*Multicriteria classification*”. Dentro del alcance de esta tesis se contempla la administración de inventarios en los vehículos que prestan los servicios en los SEM, y que funcionan como bodegas; es por esta razón que como criterio de aceptación se define que los artículos describan modelos de gestión de inventarios para medicamentos o productos perecederos en bodegas y/o almacenes y que fueran publicados en un lapso de 10 años, entre 2004 y 2014. Adicionalmente, se incluyen artículos y libros que contienen definiciones y teorías de administración de inventarios y revisiones de literatura relacionadas con la administración de productos perecederos, sin importar su fecha de publicación.

La revisión de literatura presentada a continuación se compone de los siguientes elementos: antecedentes de revisiones relacionadas con gestión de inventarios de productos perecederos, elementos de los básicos de los modelos de gestión, modelos de gestión de inventarios usados para productos perecederos, métodos de estimación de parámetros de los modelos de gestión de inventarios y finalmente se presentan los hallazgos generales.

3.1. Antecedentes

Nahmias [7] realizó en 1982 un estudio de la literatura disponible, centrándose en los modelos de inventarios para productos perecederos a la fecha del estudio. En 1984 Prastacos [8], realizó una revisión de los estudios disponibles en administración de inventarios de sangre el cual es un producto perecedero. Rafaat [9] realizó en 1991, una recopilación de los trabajos disponibles que trataran la modelación matemática para administrar inventarios de productos deteriorables, allí agrupó los conceptos fundamentales para modelos de inventarios de dichos productos. Posteriormente, en 2001 Goyal & Giri [5] presentan una clasificación de los productos de acuerdo al tipo de deterioro que presentan (ver **Tabla 1**); a partir de la cual, realizan una revisión de artículos que tratan modelos de gestión de inventarios de productos que caen en deterioro. La revisión realizada por Goyal & Giri, está dividida de acuerdo a la sub clasificación de los productos que caen en deterioro (ver **Tabla 1**), la demanda que se asume en los modelos revisados; la cual puede ser determinística o estocástica y de acuerdo a otras consideraciones asumidas en los modelos como la inflación del dinero y descuentos sobre los productos. En 2011 Bakker et al [6], se centran en completar entre 2001 y 2011 el trabajo realizado previamente por Goyal & Giri [5] realizando un estudio donde se recopilan artículos con modelos de gestión de inventarios de productos que caen en deterioro, con las mismas características del estudio realizado por Goyal y Giri (utilizan la misma clasificación de producto y tienen en cuenta modelos para un escalón y múltiples escalones en la cadena de suministro). Por otro lado, en 2011 Nahmias [10] presenta un trabajo dedicado exclusivamente a inventarios de productos perecederos, donde describe las características básicas de los modelos de inventarios para este tipo de productos y



dedica una sección a tratar los modelos de inventarios para la sangre y sus derivados. Khanlarzade et al. [11] realizan en 2013 una revisión para productos que caen en deterioro; en la que se consideran modelos para un escalón y múltiples escalones, pero se tienen en cuenta solo sistemas que asumen una demanda determinística, concepto que se describirá adelante.

3.2. Elementos básicos de los modelos de gestión de inventarios para productos perecederos.

Los productos perecederos tienen características similares, todos cuentan con un tiempo de vida que determina que el producto debe ser desechado luego de que este haya transcurrido, lo cual influye en los modelos de gestión de inventarios de dichos productos. Con base en la revisión de la literatura realizada, a continuación, se presentan los elementos básicos que son determinados para diseñar modelos de gestión de inventarios para productos perecederos y como han sido abordados por los autores.

3.2.1 Demanda

La demanda de un producto en el inventario, corresponde al número de unidades que serán retirados del inventario para algún uso [12]. Para desarrollar los modelos de gestión de inventarios, se realizan estimaciones de la demanda que tendrá lugar en un horizonte de tiempo. Las características de la demanda asumida por los modelos de administración de inventarios de productos perecederos, juega un papel importante para el desarrollo de los mismos, esta puede ser considerada como determinística o estocástica. Cuando la demanda de un artículo es constante y conocida con certeza, se dice que es determinística. Por el contrario, si la demanda de un artículo se presenta con incertidumbre y variabilidad, se dice que esta es estocástica [13] [14] [10] [5].

La revisión de la literatura realizada, muestra una subcategorización de la demanda asumida por los modelos de productos perecederos, en la cual la demanda determinística se divide en: uniforme, variable con respecto al tiempo, variable según el nivel de inventario o variable de acuerdo al precio. Por otro lado, la demanda estocástica se divide dependiendo de si la probabilidad de distribución es conocida o desconocida [6] [5].

3.2.2 Tiempo de reposición

Es el plazo de tiempo que transcurre entre la realización del pedido y la recepción del mismo en el inventario [15]. Este plazo puede ser considerado como cero, en tal caso el pedido es entregado inmediatamente se realiza. También puede ser fijo, caso en el cual la reposición no se presenta instantáneamente, sino que ocurre progresivamente de acuerdo con una tasa de reposición constante y positiva. Cuando el tiempo de reposición es cero o se presenta con un valor fijo se dice que es determinístico.

Por otro lado, se determina que el tiempo de reposición es estocástico cuando su distribución presenta comportamientos erráticos. Este plazo de tiempo de reposición, es raramente encontrado en los modelos de gestión de inventarios de productos perecederos debido a la complejidad que le aporta al diseño del problema [14] [10]. Dey et al. [16] abordan un tiempo de reposición estocástico representado por una distribución de probabilidad basada en datos históricos para un intervalo de tiempo, cuyos límites



inferiores y superiores son variables dependientes pre-establecidos. La estimación del tiempo de reposición es realizada por un método denominado algoritmo genético, el cual se usa para estimar los parámetros del modelo planteado.

3.2.3 Tipo de revisión

La mayor parte de la investigación en la teoría de inventarios de productos perecederos, asume que los niveles de inventario del sistema se conocen sólo en puntos discretos en el tiempo. A este tipo de revisión se le conoce como revisión periódica. Por otro lado, la revisión del estado del sistema se puede hacer por medio de la revisión continua, caso en el cual, los niveles de inventarios son conocidos cada vez que se realiza el retiro de cualquier producto [13] [14]. En los últimos años la revisión continua, ha tenido una importancia cada vez mayor gracias a los escáneres para la lectura de productos y los sistemas automatizados de control de inventario, ya que facilitan la tarea de revisión de inventarios.

3.2.4 Costos asociados

A continuación, se presentan los principales elementos que se incluyen como costos asociados en la formulación de los modelos de gestión de inventarios para los productos perecederos:

- **Escasez:** la escasez hace referencia a la falta de un artículo para suplir la demanda. La diferencia fundamental entre los modelos que consideran o no la escasez, radica en una fracción de espera y en la adición de un parámetro de costo por pérdida de ventas y/o pedidos pendientes [10]. En la revisión realizada se encontraron más artículos que no consideran escasez, que aquellos que si la consideran. En los modelos que no es considerada, se asume que la capacidad de entrega del fabricante es infinita.
- **Costo de lanzamiento de producto:** Dentro de los costos que pueden ser considerados al realizar un modelo de gestión de inventarios, se encuentran los costos de lanzamiento de la orden de producto. Nahmias [10] asegura que es común en gestión de inventarios de productos perecederos con revisión periódica, asumir que no hay costo fijo para hacer un pedido. En la práctica estos costos raramente pueden ser ignorados porque a través de ellos se puede determinar la frecuencia óptima de pedido de órdenes.

La **Tabla 2**, presenta como se clasifican de modelos de gestión de inventarios en determinísticos y estocásticos de acuerdo a las características de los elementos básicos que consideran [5].



Tabla 2. Elementos básicos para los modelos determinísticos y estocásticos.

	Demanda		Tiempo de reposición			Tipo de revisión		Considera escasez	
	Determinística	Estocástica	Cero	Fijo	Variable	periódica	Continua	si	no
Modelos determinísticos	X		X	X		X			X
Modelos estocásticos	X	X	X	X	X	X	X	X	X

3.2.5 Clasificación de producto

Gestionar los inventarios es esencial para las empresas en cualquier tipo de industria, sin embargo, esta tarea se puede complicar a causa del volumen de artículos en el inventario el cual puede ascender a cientos o miles de ítems, incluso en empresas de pequeña escala. Para facilitar la administración de estos artículos, se utiliza una clasificación de producto a través del método ABC o de una clasificación multicriterio-MC, las cuales permiten establecer prioridades de administración y determinar la importancia que se debe prestar en términos de control a los artículos de forma segmentada [17] [13].

- **Método clasificación ABC**

El método de clasificación ABC, está basada en el principio de Pareto y agrupa a través del criterio del uso anual del dinero, los artículos en el inventario dentro de tres grupos: el grupo A, el grupo B y el grupo C. Según esta metodología, a los artículos clasificados en el grupo A se les debe prestar la mayor atención y representan una prioridad para el sistema de inventarios. Los ítems clasificados en el grupo B, tendrán una atención moderada y a los artículos clasificados en el grupo C se les prestará menor atención.

- **Clasificación multicriterio (CM)**

La CM de inventarios, agrupa los artículos en tres grupos A, B y C bajo la influencia de múltiples criterios. Para obtener una CM, primero se deben puntuar los artículos en el inventario y luego se deben agrupar.

Puntuación en CM: La puntuación consiste en asignar una única puntuación de prioridad para cada elemento que este influenciada por todos los criterios seleccionados. La puntuación para CM, fue abordada inicialmente por Flores y Whybark y Cohen y Ernst. Los primeros, propusieron un método donde se comparan dos criterios con igual importancia en una matriz, siendo uno de estos criterios el uso anual del dinero [18]. Por otro lado, Cohen y Ernts, implementaron un análisis de clúster para clasificar artículos en inventario, que contemplaba el uso de más de dos criterios en la clasificación de inventario [19]. Esta metodología fue nombrada grupos operacionales relacionados. Para



ejecutar el análisis propuesto por Cohen y Ernst, se requiere una cantidad sustancial de información y el uso de otras técnicas estadísticas como análisis factoriales para obtener los grupos de artículos en el inventario.

El AHP ha sido usado para puntuación en la CM [20] [17] [21], este permite integrar múltiples criterios para obtener una clasificación agregada de artículos en el inventario. El AHP es una técnica de toma de decisiones multicriterio, con una estructura jerárquica que realiza comparaciones por pares. Esta metodología tiene involucrada la opinión de expertos para determinar la importancia de los criterios [22]. Una de las ventajas que ofrece, es que posibilita analizar variables cualitativas y cuantitativas, adicionalmente genera una medida consistente que puede ser usada para clasificar ítems en el inventario, en una estructura ABC simple [17]. Dentro de los estudios realizados con esta metodología en CM, se encuentran adicionalmente aproximaciones con AHP-difuso, el cual es una combinación entre el AHP y la lógica difusa. Allí la evaluación de los criterios, se realiza a través de términos lingüísticos los cuales son convertidos posteriormente en números difusos con el fin de construir la matriz de comparación por pares [23] [24].

En el campo del análisis envolvente de datos (DEA), en [25] se propone un modelo nombrado “R-model” basado en esta metodología, para clasificar artículos en el inventario. El modelo es similar a una suma ponderada simple, en el cual se maximiza el rendimiento de un elemento en el inventario en términos de diferentes criterios, por medio de una multiplicación entre los pesos de los criterios seleccionados y los datos que se tengan de cada artículo. Los pesos de los criterios son determinados por medio de optimización lineal, sujeto a que la suma de los pesos debe ser igual a uno.

En [26], también se propone un modelo basado en DEA, en el cual se implementa un mecanismo de solución simple para calcular una medida para cada artículo en el inventario. En [27], se propone una extensión del modelo “R-model”, en el cual incluyen dos índices nombrados por el autor como “bueno” y “malo” para calcular los pesos más favorables y los menos favorables respectivamente para los criterios. Adicionalmente, se incluye un parámetro de control que permite al decisor, controlar su preferencia sobre los índices “buenos” y los “malos”. Un híbrido entre AHP, DEA y una ponderación aditiva simple (SAW), es propuesto en [23] para clasificar artículos en el inventario, donde el AHP es implementado para determinar los pesos de los criterios, mientras que DEA y SAW se usan para clasificar los artículos con base en los resultados del AHP y la información almacenada en determinado sistema de los artículos analizados.

En el campo de la inteligencia artificial, en [28] se usan redes neuronales artificiales combinado con un algoritmo de aprendizaje de propagación hacia atrás para realizar la CM. Adicionalmente Partovi y Anandarajan, realizaron una clasificación ABC y una CM con análisis discriminante múltiple y con un algoritmo del vecino más cercano, con el fin de comparar los resultados obtenidos a través de las redes neuronales artificiales.

Agrupación en CM: consiste en la conformación de los grupos de clasificación A, B y C. Para la agrupación de artículos en el inventario para la CM. En [17] se utiliza el análisis de Pareto con la regla 70%-20%-10%. El agrupamiento de artículos por medio del análisis de Pareto, aunque es ampliamente usado, supone una medida subjetiva al determinar la



pertenencia de un artículo a un grupo de clasificación. Por su parte, en [23] se ordenan los puntajes obtenidos por los artículos en la CM de mayor a menor, paralelamente realizan una clasificación ABC tradicional de la cual obtienen los tamaños de los grupos. Estos tamaños de grupo son usados en la CM, asignando los artículos a los grupos A, B y C de acuerdo a su puntuación y limitando el número de artículos clasificados en un grupo con base en los tamaños de grupo resultantes de la clasificación ABC.

En [20], se propone una agrupación de artículos en el inventario a partir de resultados de la aplicación de AHP por medio de análisis de clúster. De este trabajo resultan dos modelos híbridos nombrados AHP-K y AHP-K-Veto. En el modelo AHP-K, los resultados de la CM por medio de los puntajes totales obtenidos para cada artículo, son agrupados por medio del método K-medias, donde el número de grupos (K) está predeterminado como tres (A, B y C). En el modelo AHP-K-Veto, se parte de las calificaciones obtenidas para cada artículo en cada criterio y se realiza un análisis de clúster por cada criterio. Los resultados son integrados teniendo en cuenta vetos asignados por el encargado de hacer la evaluación. Así; por ejemplo, se puede imponer un veto para que artículos clasificados en algún criterio como C según el análisis de clúster, no puedan estar en el grupo A de la clasificación final.

El tradicional método de clasificación ABC, con un único criterio de clasificación es sencillo y práctico; sin embargo, en la administración de inventarios otros factores además del uso anual del dinero influyen su gestión [17]. Para los sistemas de salud en general, la obsolescencia, la escasez, el uso inadecuado y el gasto en medicamentos innecesarios o de baja calidad, tienen un alto costo en términos de recursos desperdiciados, enfermedades y muertes evitables [29]. Por estas razones se plantea que factores como los mencionados previamente, pueden cobrar igual o mayor importancia que las preocupaciones financieras al decidir la relevancia de un artículo en los sistemas de salud, lo cual puede ser posible a través de una clasificación multicriterio CM.

3.3. Modelos de gestión de inventarios para productos perecederos

De acuerdo a la demanda, el tiempo de reposición y el tipo de revisión que se tiene en cuenta en un sistema, los modelos de gestión de inventarios pueden ser clasificados en tres categorías: modelos de control individual determinístico, sistemas de control individual estocástico y sistemas de control conjunto, los cuales son explicados a continuación centrados en las adaptaciones realizadas en la literatura para que dichos modelos administren productos perecederos.

3.3.1 Modelos determinísticos de control individual

A continuación, se presentan los modelos de gestión de inventarios de tipo determinísticos diseñados específicamente para productos perecederos, los cuales son el modelo de cantidad económica de pedido-EOQ con perecibilidad y el modelo determinístico dinámico con perecibilidad. Las características de los modelos determinísticos pueden ser consultados en la *Tabla 2*.

- **Modelo EOQ con perecibilidad**



Este modelo es una versión ajustada del EOQ propuesto por Harris [30], para que tenga en cuenta la perecibilidad [10]. Con el parámetro λ como la demanda, el parámetro K como el costo de lanzamiento de pedido y h el costo unitario de mantener el inventario por unidad de tiempo, el número óptimo de unidades a ordenar está dado por [30]:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}}$$

Y el tiempo óptimo entre pedidos (T^*) está dado por [10]:

$$T^* = \frac{Q^*}{\lambda}$$

Asumiendo que todas las unidades que llegan al inventario no han perecido y que m representa el tiempo de vida de los artículos que entran al inventario, se pueden presentar dos casos: cuando $T \leq m$, o que $T > m$. En el primer caso, la política óptima sigue siendo la misma que en el modelo EOQ tradicional, ya que en cada ciclo todas las unidades son consumidas por la demanda antes de que lleguen a su fecha de vencimiento. Sin embargo, en el segundo caso cuando hayan pasado m unidades de tiempo, el inventario perece y debe desecharse igualando las existencias a cero, por lo cual un nuevo pedido debe realizarse en ese momento. Por lo tanto la modificación al modelo es sencilla y consiste en cambiar $Q^* = \lambda T^*$ por $Q = \lambda m$, de forma general la política entonces sería $\min(Q^*, \lambda m)$ [10]. El modelo EOQ se ha usado para productos perecederos en [31] [32] [33] [34] [35] [36].

- **Modelo determinístico dinámico con perecibilidad (LSE con perecibilidad)**

Este modelo está basado en el modelo de lote económico (LSE) de Wagner & Whitin [37], para el cual se han presentado varias modificaciones con el fin de ajustarlo a los productos perecederos. Smith [38] fue el primero en proponer una variación al modelo, la cual está limitada a la restricción de que el inventario inicial siempre es cero cuando se recibe un nuevo pedido. Friedman & Hoch [39] demostraron que el algoritmo propuesto por Smith no era adecuado dado que los supuestos asumidos son incorrectos, por lo cual los autores construyeron un algoritmo de programación dinámica para resolver el problema a partir del cálculo de una matriz de costos que permite realizar un seguimiento del inventarios disponible en cada periodo de reabastecimiento, asignando costos de acuerdo al tiempo que la unidad lleva en inventario y al tiempo que le hace falta para expirar.

3.3.2 Modelos estocásticos de control individual

Este tipo de modelos, están diseñados para gestionar y controlar artículos de forma individual en escenarios estocásticos (ver **Tabla 2**). Se sabe muy poco acerca de las políticas óptimas de orden para escenarios donde se gestionan productos perecederos con revisión constante y tiempos de reposición estocásticos, ya que cuando se realiza un pedido, mientras la entrega no se haya efectuado, el “envejecimiento” solo se puede aplicar a las unidades en el inventario, y no a las unidades en pedido. Adicionalmente, y debido a que las unidades se pueden ordenar en cualquier punto en el tiempo, no hay



límite para el número de diferentes órdenes que componen el inventario en cualquier punto en el tiempo [10].

A continuación, se presentan y describen los sistemas de control individual estocásticos encontrados en la literatura revisada.

- **Sistema de reposición ($r - S$)**

En este sistema, se realiza un pedido de reposición cuando el nivel del inventario cae a s o por debajo de él, donde r representa un nivel de alerta. La cantidad del pedido se calcula con base en la diferencia entre la existencia al momento de realizar la reposición y una meta S , donde S representa un nivel máximo de inventario previamente definido por la administración. Para poder conocer el momento en que el inventario cae al nivel s , el tipo de revisión debe ser continuo. Los parámetros a determinar en este sistema de reposición son r y S , donde r representa un inventario de seguridad y S es el inventario máximo que podrá tener la bodega.

Para productos perecederos, las salidas del inventario en este sistema de reposición no sólo se cuentan cuando un cliente retira el producto, sino también cuando un producto es dado de baja porque llegó a su fecha de vencimiento. Cuando se almacenan artículos de alta importancia para la administración, es común encontrar una extensión de este modelo donde se utiliza el parámetro $(S-1)$ en lugar de s , lo cual significa se realiza un pedido cada que ocurre una salida del inventario $(S-1)$. En este sistema se presenta una reposición cada vez que hay una salida del inventario, lo cual resulta ser muy costoso ya que implica no sólo una revisión continua del inventario sino también incluir costos de lanzamiento de pedidos [40].

- **Sistema de reposición (Q, r)**

En este sistema de reposición, se pide siempre una cantidad fija Q en la reposición, cuando el nivel de inventario cae a r . En este caso Q tendrá siempre el mismo tamaño, independientemente del nivel del inventario y del tiempo en que tarde ser reposicionado en inventario.

La política de reposición (Q, r) ha sido usada para tratar modelos estocásticos con una modificación para adaptarse a la perecibilidad. Tradicionalmente Q representa la cantidad que se debe pedir y r el punto de re-orden, en la modificación para productos perecederos r no solo representa el punto de re-orden, sino también un punto de alerta de fechas de vencimiento. Si r es menor que el tiempo de vida de los productos que se tienen en inventario, ese tiempo de vida reemplazará el valor de r [41]. Tekin et al [42] proponen la modificación a esta política como (Q, R, T) , donde Q representa el tamaño de pedido que debe ser colocado, cuando el nivel del inventario llegue a R o después de que se haya transcurrido un tiempo T pre-establecido. Para esta política se debe asumir que el envejecimiento de los elementos en un lote, comienza solo después de que todas las unidades del lote anterior se agotan, ya sea por demanda o por que fueron descartadas por llegar a su tiempo límite de vida.

- **Sistema (S, T)**



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

En este sistema de control, S corresponde a una meta de unidades de inventario y T a las unidades de tiempo de la revisión. Así, el inventario será revisado cada T unidades de tiempo y la cantidad a ordenar, será igual a la diferencia entre el inventario efectivo al momento de la revisión y la meta S .

Según esto, se tienen dos variables de decisión, S y T . Cuando se determina el parámetro S en este sistema, se debe considerar el inventario de seguridad, así S debe ser lo suficientemente grande para que el inventario dure hasta el próximo aprovisionamiento [13].

3.3.3 Modelos de control conjunto

Los modelos y sistemas de control de inventarios revisados anteriormente, controlan los ítems de forma individual. En el control conjunto de inventarios, se gestionan varios ítems de forma simultánea reunidos por grupos, generalmente estos grupos son determinados por la clasificación de producto, explicada en la sección 3.2.

- **Sistema periódico de reabastecimiento conjunto**

En este sistema de control, se define un periodo de revisión común para varios ítems en un grupo, en el cual se ordenan cantidades diferentes para cada ítem con base en el inventario efectivo al momento de la revisión [43] [44].

- **Sistema min-max de reabastecimiento conjunto**

Este método puede considerarse como un método (r, S) para varios ítems. Cuando el nivel de un ítem alcanza su nivel r , se revisa el nivel inventario de todos los ítems del grupo y se compara con sus respectivas unidades metas S , luego se lanza un pedido conjunto calculado con base en la diferencia entre el nivel del inventario al momento de la revisión y la meta S , de tal manera que se alcancen todas las metas para todos los ítems en el grupo.

Una variación del sistema min-max, es el sistema (S, c, r) , en el cual, al momento de revisar el nivel de inventario, se evalúa si los ítems que no han alcanzado su punto de reorden deben ser incluidos en el pedido por medio de un parámetro c . Para que un ítem sea incluido en la reposición, su nivel de inventario debe ser menor que c [13].

- **Límites de capital o de almacenamiento**

Este sistema de control se usa cuando se cuentan con restricciones como capacidad de almacenamiento, disponibilidad de capital, entre otras, las cuales imposibilitan, adquirir las cantidades sugeridas por otros sistemas de control [13].

Cuando se presenta alguna restricción que limita la cantidad de unidades de ítems que pueden ser ordenados, se hace necesario modificar las cantidades de los pedidos con el fin de satisfacer dichas limitaciones.

3.4. Métodos para determinar parámetros en modelos de gestión inventarios de productos perecederos

En ocasiones, la complejidad del problema aumenta cuando se asumen elementos estocásticos en los sistemas de inventarios, lo cual dificulta la estimación de los parámetros de los modelos de gestión de inventarios; es por esta razón, que se utilizan

Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia



métodos adicionales con el fin de determinar los parámetros mencionados como las metaheurísticas, la simulación, los modelos matemáticos, entre otros. Los métodos usados en la estimación de parámetros de modelos de gestión de inventarios son descritos a continuación.

3.4.1 Modelos exactos

En estos modelos se realizan formulaciones matemáticas con las cuales se expresan relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entre otros, para estudiar los comportamientos del sistema estudiado. Chew et al [45] desarrollan un modelo matemático con demanda estocástica y revisión periódica, en donde se asume que la vida del producto considerado es igual a dos periodos. La función objetivo del modelo desarrollado por Chew et al [45] consiste en determinar el precio y la localización de un producto perecedero.

3.4.2 Metaheurísticas

La complejidad de la vida útil fija de los productos perecederos, inhibe la aplicación de métodos formales para construir modelos de gestión de inventarios o hace que los resultados de dichos métodos sean intratables a nivel analítico, esto ha propiciado el uso de las metaheurísticas [46]. Sörensen & Glover [47] definen metaheurística como un marco o estructura de alto nivel, independiente del problema, que provee una serie de guías o estrategias para desarrollar algoritmos de optimización heurísticos. Duan & Liao [46], Taleizadeh et al [48] y Taleizadeh et al [49] utilizan un algoritmo metaheurístico como optimizador para sistemas de inventarios con demanda estocástica. Duan & Liao [46] utilizan la simulación y una metaheurística, para desarrollar un modelo que considera una demanda estocástica, que tiene como objetivo reducir al mínimo número de unidades que perecen bajo un nivel permisible de escasez máximo predeterminado, utilizando solo información parcial sobre la edad de los artículos. Taleizadeh et al [49] utilizan un híbrido de simulación difusa y un algoritmo genético para determinar el inventario máximo de varios productos perecederos. Por otro lado Dey et al [16] utilizan un algoritmo genético para desarrollar un modelo multi-objetivo, en el cual se considera un tiempo de reposición variable y se admite que perezcan artículos.

3.4.3 La Simulación como una técnica de apoyo en la determinación de parámetros en la solución

La simulación permite imitar las operaciones y características de los sistemas para un conjunto dado de condiciones con el fin de entender mejor el comportamiento de dicho sistema [50]. Esta metodología se usa generalmente para abordar modelos estocásticos y sirve como técnica de apoyo en la estimación de algunos parámetros de los modelos de gestión de inventarios [51] [52] [46]. Chakravarthy & Daniel [53] desarrollan un modelo donde la demanda se modela como un proceso markoviano, el tiempo de reposición igual a cero, el tiempo de vida de los productos considerados para desarrollar su modelo se comportan de acuerdo a una distribución exponencial, se utiliza un modelo de reposición (s, S) y el objetivo del estudio es encontrar por medio de la simulación los valores óptimos para s y S . Van Doselaar & Broekmeulen [54] combinan modelos de regresión con simulación para un sistema de inventarios con demanda estocástica y un tiempo de



reposición fijo, con el objetivo de evaluar cuales cambios en el stock de seguridad y las características de la demanda, de modo que se reduzcan el número de artículos que perecen en el sistema.

3.5. Hallazgos de la revisión de la literatura

Los elementos básicos de los modelos de gestión de inventarios son la demanda, el tiempo de reposición, el tipo de revisión, los costos que se consideren y una clasificación de producto. De acuerdo a las características que presenten cada uno de estos elementos, se determina cual modelo de gestión de inventarios se ajusta mejor a las características de un sistema determinado y si se requiere implementar un método adicional para estimar los parámetros del modelo a implementar.

Con respecto a la demanda, desde el punto de vista de la vida real, una distribución de la demanda estocástica es más probable [55], sin embargo en los artículos estudiados para realizar esta revisión, se encontró que la cantidad de modelos que asumen una demanda determinística es aproximadamente igual a aquellos que utilizan una demanda estocástica.

En cuanto al tiempo de reposición, la mayor parte de los artículos revisados en esta revisión de literatura, asumen un tiempo de reposición determinístico con valores fijos o cero, sólo un artículo asume un tiempo de reposición variable. Lo anterior, se atribuye a la complejidad que aporta a los modelos considerar tiempos de reposición estocásticos.

En cuanto al tipo de revisión, se encontró que los trabajos que asumen una reposición periódica son ligeramente mayores a los trabajos que asumen una revisión continua.

En la mayor parte de los artículos revisados, los productos o bienes que son considerados para el desarrollo de modelos de productos perecederos, son tratados de forma genérica. Sin embargo se encontraron algunos trabajos que consideran las plaquetas como producto para desarrollar modelos de inventarios de productos perecederos, sobre lo cual recordar que uno de los primeros trabajos realizados en productos perecederos fue realizado en plaquetas [8].

La **Tabla 3** muestra los artículos recopilados que desarrollan modelos de inventarios de productos perecederos. Los artículos son clasificados de acuerdo a los métodos con los que se estiman sus parámetros, la demanda que asumen, los productos perecederos que se consideran en el desarrollo del modelo, el tiempo de reposición y si la escasez es considerada o no.



Tabla 3. Clasificación de los artículos recopilados para realizar esta revisión de literatura según el método de solución y la demanda (TR= tiempo de reposición, CE= considera escasez, E= estocástica, D= determinística, V= variable, C=continua, P= periódica y NE=no específica)

Método de estimación de parámetros	Demanda	Producto	TR	CE	Tipo de revisión		
					C	P	NE
Meta heurísticas	E	Plaquetas PP	Cero	si/ no	[56]	[49]	[46] [48]
	D	PP	V	si		[16]	
Modelos exactos	E	PP	Fijo	no	[41]		
					[57]		
					[58]		
	D	PP	Cero	no	[45] [59] [60]	[61]	

4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Considerando los hallazgos de la revisión de la literatura, se plantea una metodología para el desarrollo de la investigación presentada en este trabajo, que consta de cuatro etapas: la contextualización del entorno del problema, la definición de entradas del modelo, la descripción modelo de gestión y control de inventarios de medicamentos y la validación de las políticas de gestión y control de inventarios. A continuación, se describen los contenidos generales de cada etapa. Cada etapa es descrita y desarrollada en detalle en las secciones posteriores.

4.1. Contextualización del entorno del sistema estudiado

Con el fin de delimitar el alcance de este trabajo y estudiar el contexto del problema, en esta etapa se estudian las características del entorno del sistema estudiado.

Inicialmente se analizan las características generales de los SEM en el contexto colombiano. Luego, se analizan los procesos involucrados en la administración de medicamentos en un SEM real que sirve como referencia para este trabajo, en este caso Coomeva Emergencias Médicas. En esta sección, se realiza una diagramación y análisis del aprisionamiento y consumo de los medicamentos usados en la prestación del servicio.

4.2. Definición de las características de las entradas del modelo de gestión de inventarios

En esta etapa se determinan las características de los elementos que sirven de parámetros o entradas para seleccionar un modelo de gestión de inventarios para el SEM referencia que se ajuste a sus características, usando las bases de datos del sistema referencia y el conocimiento adquirido de la revisión de la literatura.



En revisión de la literatura realizada, se encontró la demanda como una variable de decisión importante, y la clasificación multicriterio, como una herramienta para la toma de decisiones en un modelo de gestión de inventarios. Debido a la importancia de estos elementos y a que su caracterización involucra el uso de métodos cuantitativos, en esta sección se describe una metodología para su caracterización.

4.2.1 Demanda

Una serie de tiempo es el conjunto de registros que recopilan la información de los consumos o demanda en un intervalo de tiempo. Las series de tiempo tienen cuatro componentes básicos de variación, los cuales son: estacionalidad, ciclicidad, tendencia y aleatoriedad [62].

La estacionalidad se presenta cuando la serie es influida por factores estacionales de temporada donde se presentan picos en determinadas épocas del tiempo observado. La ciclicidad se presenta cuando hay un patrón donde los datos se elevan y caen, pero este comportamiento no se presenta en un periodo fijo. La serie de tiempo presenta tendencia en los datos, cuando hay un aumento o una disminución a largo plazo en las observaciones. Se presenta una componente de aleatoriedad en la serie, cuando factores a corto plazo, imprevisibles y no recurrentes que afectan a la serie de tiempo.

Para determinar el tipo de patrón de demanda que se presenta en un conjunto de registros, se calcula el coeficiente de variación (CV) (*Ecuación 1*), el cual es una medida de la fluctuación de la demanda. Si el CV es menor a 1 se dice que la demanda es perpetua o uniforme, en caso contrario se dice que esta es errática y debido a su componente de aleatoriedad es difícil de pronosticar [13]. Con base en el la prueba de irregularidad de Peterson y silver [63] si este CV es menor que 25% se asume que los datos tienen un comportamiento regular y su variación es poca [14] [64]; caso en el cual, aunque la demanda no es conocida exactamente se presenta un comportamiento aproximadamente determinístico. En caso contrario se asume que el comportamiento de los datos es irregular y tiene alta variación [13] [14].

$$CV = \frac{\text{Desviación estandar de la demanda}}{\text{Demanda promedio}} \times 100$$

Ecuación 1. Coeficiente de variación

Para determinar si la demanda tiene alguna tendencia, se corre el modelo de regresión lineal de la serie de tiempo, el cual tiene la forma:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 t$$

Y se plantean las siguientes hipótesis:

$$h_0: \hat{\beta}_1 = 0$$

$$h_1: \hat{\beta}_1 \neq 0$$

Para que la serie de tiempo tenga tendencia, se debe cumplir que $\hat{\beta}_1$ sea significativo y que $|cor(y, t)| \rightarrow 1$.



4.2.2 Clasificación Multicriterio (CM)

Inicialmente se seleccionan un método de puntuación y un método de agrupación para obtener una CM para los medicamentos (ver sección 2.2.5). En este caso, se ha seleccionado el AHP con el fin de determinar los pesos de los criterios, ya que permite la generación de una medida que es fácilmente integrable a los datos disponibles y requiere la evaluación de expertos. En este caso, el uso de opinión de expertos que requiere el AHP se considera valioso, dado que se cuenta con un sistema referencia y dichas evaluaciones brindan un valor agregado al modelo haciendo un enlace con un sistema real. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que este trabajo de investigación sirve como base para la formulación de un software de gestión de recursos para SEM reales y se realiza en constante acompañamiento y validación de un sistema referencia, por lo tanto, los métodos a seleccionar deben ser lo menos complejos posibles para facilitar su entendimiento y replicabilidad por profesionales de área de la salud.

Por otro lado, se ha seleccionado la metodología k-medias para determinar los grupos de clasificación. En este caso K-medias utiliza los puntajes resultantes del AHP, los cuales tienen involucrados los criterios seleccionados para la clasificación y la información sobre los criterios almacenada por el sistema referencia. La selección de grupos, se realiza sin requerir el ingreso de parámetros adicionales además del número de grupos. Por medio de K-medias, las observaciones son agrupadas de acuerdo a la similitud de sus puntajes totales a partir de la distancia entre ellas, creando grupos de medicamentos compactos para la clasificación ABC. Posteriormente, los resultados de la CM seleccionada para este trabajo (AHP+K-medias), son comparados con una clasificación multicriterio usando un método de agrupamiento con un análisis de Pareto (AHP+P) y una clasificación ABC tradicional (ABC-T) para los mismos artículos.

Una vez determinados los métodos de puntuación y agrupación, y teniendo en cuenta aplicaciones encontradas en la revisión de la literatura de los métodos seleccionados [20] [65], se plantean tres pasos con el fin de realizar una clasificación para medicamentos en el sistema referencia: estructuración del problema de decisión y determinación de los pesos de los criterios, integración de los pesos de los criterios al sistema de calificación y agrupación de los artículos en el inventario, los cuales son descritos a continuación.

Paso 1: Estructuración del problema de decisión y determinación de los pesos de los criterios

En esta etapa, se seleccionan los criterios j que serán evaluados y los expertos que realizarán la evaluación. Cada experto compara por pares los criterios seleccionados y asigna una calificación con base en la escala presentada en la **Tabla 4** para cada par de criterio.

Tabla 4. Escala de calificación para el AHP [22].

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia



3	Ligeramente importante
5	Mucho más importante
7	Fuertemente importante
9	Extremadamente más importante

De las evaluaciones realizadas por los expertos, se obtienen n matrices de calificación (una por cada evaluador), las cuales deben ser integradas para obtener una matriz de evaluaciones consolidada que contemple la opinión de todos los expertos considerados en el estudio. Esta integración, se realiza por medio del promedio geométrico de las observaciones para cada posición en la matriz resultante (ver Ecuación 2).

$$\left(\prod_{e=1}^E x_e \right)^{1/E}$$

Ecuación 2. Promedio geométrico

Suponga un caso de ejemplo, donde se seleccionaron tres criterios ($j=3$): el criterio 1 (C1), el criterio 2 (C2) y el criterio 3 (C3), los cuales fueron evaluados por dos expertos ($n=2$), el experto A (**Tabla 5**) y el experto B (**Tabla 6**), de acuerdo a los datos presentados a continuación:

Tabla 5. Evaluación experto A

Experto A			
Criterios	C1	C2	C3
C1	1	7	5
C2	1/7	1	1/3
C3	1/5	3	1

Tabla 6. Evaluación experto B

Experto B			
Criterios	C1	C2	C3
C1	1	3	5
C2	1/3	1	3
C3	1/5	1/3	1

La posición C1 en la fila y C2 de la columna de la matriz consolidada, se obtiene aplicando la ecuación 2 con la información contenida en la misma posición sombreada en la Tabla 5 y Tabla 56, como se muestra a continuación:

$$(7 * 3)^{1/2} = 4,58$$

Repetiendo la operación para cada posición, se obtiene la matriz de evaluaciones consolidada (ver **Tabla 7**):

Tabla 7. Matriz consolidada ejemplo

Matriz consolidada			
Criterios	C1	C2	C3



C1	1,00	4,58	5,00
C2	0,22	1,00	1,00
C3	0,20	1,00	1,00

Con el fin de determinar los pesos de los criterios (P_j), se normaliza la matriz de evaluaciones consolidada. Para realizar este proceso, se suma cada columna de la matriz normalizada y se divide cada posición de la matriz, por la suma de la columna correspondiente de acuerdo a su ubicación, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Normalización de la matriz consolidada

Matriz consolidada				Matriz consolidada-normalizada			
Criterios	C1	C2	C3	Criterios	C1	C2	C3
C1	1,00	4,58	5,00	C1	1,00/1,42	4,58/5,58	5,00/7,00
C2	0,22	1,00	1,00	C2	0,22/1,42	1,00/5,58	1,00/7,00
C3	0,20	1,00	1,00	C3	0,20/1,42	1,00/5,58	1,00/7,00
Suma	1,42	6,58	7,00				

Sobre la matriz unificada y normalizada se estima el vector propio, que en este caso será el vector de pesos (ver Tabla 9). Finalmente, se evalúa la consistencia de los resultados por medio de la **Ecuación 3**, donde λ_{max} es la multiplicación de cada elemento en el vector de pesos, con la correspondiente suma de columnas en la matriz de evaluaciones unificada y normalizada, j es el número de criterios y el índice aleatorio es un valor predefinido definido por Saaty, que depende del número de criterios considerados en el análisis (ver Tabla 10) [13].

Tabla 9. Determinación de los pesos de los criterios evaluados.

Criterios	Matriz consolidada-normalizada			Vector de prioridad
	C1	C2	C3	
C1	0,71	0,70	0,71	0,705
C2	0,15	0,15	0,14	0,150
C3	0,14	0,15	0,14	0,145

$$\text{coeficiente de consistencia} = \frac{\frac{\lambda_{\max} - j}{j - 1}}{\text{Índice Aleatorio}}$$

Ecuación 3. Coeficiente de consistencia



Tabla 10. Índice aleatorio para el cálculo del coeficiente de consistencia.

Número de criterios a comparar	Índice aleatorio (IA)
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41

Para el caso de ejemplo, el análisis de consistencia sería como se muestra a continuación, aplicando la ecuación 3:

$$CC = \frac{3 - 3}{0,58} = 0$$

Dado que $0 < 0,1$ se concluye que los resultados son consistentes y en consecuencia los pesos (P_j) de los criterios para el caso de ejemplo son:

Tabla 11. Pesos de los criterios del caso ejemplo

Criterio	Peso (P_j)
C1	70,5%
C2	15,0%
C3	14,5%

Paso 2: integración de los pesos de los criterios al sistema de calificación

Dado que una CMI involucra dos o más criterios y con el fin de evitar inconvenientes con respecto a las unidades en la que se encuentren reportados los datos por consecuencia de la escala y las unidades de medición, se procede a realizar una normalización de las observaciones que permita transformarlas de tal manera que todas estén reportadas entre 0 y 1. Teniendo como base que se cuentan con i artículos que serán clasificados bajo j criterios, la observación del artículo $_i$ en el criterio $_j$ se denominará y_{ij} . Los valores normalizados de las observaciones, V_{ij} , de cada artículo $_i$ en el criterio $_j$, se obtiene a partir de la **Ecuación 4** [66] [23], donde $\min_{i=1\dots I}\{y_{ij}\}$ representa la observación mínima de todos los artículos i para el criterio j y $\max_{i=1\dots I}\{y_{ij}\}$ la observación máxima.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

$$V_{ij} = \frac{y_{ij} - \min_{i=1 \dots I} \{y_{ij}\}}{\max_{i=1 \dots I} \{y_{ij}\} - \min_{i=1 \dots I} \{y_{ij}\}} \forall i \in I$$

Ecuación 4. Normalización de las observaciones

El puntaje por ítem ($Puntaje_i$), se obtiene multiplicando el valor normalizado de cada artículo (V_{ij}) obtenido para cada criterio, por el peso (P_j) del criterio correspondiente como se muestra en la **Ecuación 5**. Así, este puntaje es una suma ponderada bajo múltiples criterios, que involucra los pesos de los criterios determinados por la opinión de expertos en el sistema y la información de las observaciones normalizadas para cada criterio, los cuales son datos que representan el comportamiento de dichos criterios en el sistema en el cual se realiza la clasificación.

$$Puntaje_i = \sum_{j=1}^J V_{ij} * P_j \forall i \in I$$

Ecuación 5. Determinación de puntaje para la CM

Paso 3: agrupación de los artículos en el inventario.

Con los puntajes de cada artículo, se seleccionan los ítems pertenecientes cada grupo de clasificación A, B o C. En este caso, se usa el método de agrupamiento K-medias. Este método divide en K grupos las observaciones, de tal forma que la suma de las distancias cuadradas entre cada observación asignada a un grupo y el centro de cada grupo (la media para el caso de la distancia euclidiana), sea minimizada. Una forma agrupar bajo este método, realiza una asignación aleatoria inicial en k grupos para las observaciones y calcula distancias cuadradas al centro. Luego, los grupos son modificados y las distancias cuadradas al centro son recalculadas hasta que el error cuadrático es minimizado.

En este caso, las observaciones serán el $Puntaje_i$ de cada $artículo_i$ y K será igual a tres, dado que se quiere clasificar los artículos en el inventario en tres grupos, el A, el B y el C. Así, la distancia cuadrada total (DCT) es la suma de las distancias entre cada $Item_i$ asignado a un grupo G_k , y el centro de su respectivo grupo que se denotará como μ_k con $k \in K$ como se muestra en la **Ecuación 6**.

$$DCT = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in G_k} ||Puntaje_i - \mu_k ||$$

Ecuación 6. Distancia cuadrada total

Minimizar DCT es considerado como un problema NP-completo, en el cual se converge a un óptimo local en donde se encuentra un mínimo para DCT. Para resolver este problema, se emplean heurísticas como la de Lloyd [67], la de Hartigan y Wong [68] y la de MacQueen [69] que permiten encontrar rápidamente óptimos locales.

En el caso de estudio desarrollado en esta investigación, se usará un software estadístico en el cual se ingresan los puntajes obtenidos para formar los grupos de clasificación. El software utiliza el método de Hartigan y Wong para agrupar las observaciones para minimizar DCT. Para más información sobre el algoritmo ver [68].



4.3. Modelo de gestión y control de inventarios de medicamentos para el sistema referencia

Una vez determinadas las características de las entradas y considerando los hallazgos de la revisión de la literatura, se procede a seleccionar un modelo de gestión de inventarios que se ajuste a las características del SEM referencia. Luego, se realizan los ajustes de los parámetros del modelo seleccionado y se generan políticas de gestión y control para los medicamentos, que determinen claramente cuáles, cuántos y cuándo pedir artículos en reposición y permitan controlar el estado y el nivel de los medicamentos en el inventario.

4.4. Validación de las políticas de gestión y control de inventarios

El proceso de validación consiste en comprobar el desempeño de las políticas de gestión y control generadas por el modelo de gestión de inventarios, lo cual se realiza en dos etapas. Primero se validan los resultados de la caracterización de las entradas, la selección del modelo y las políticas generadas con la coordinación del sistema referencia. En segundo lugar, se prueba el desempeño de las políticas generadas a través de una prueba piloto en el sistema referencia. Finalmente, se analizan las salidas obtenidas y se formulan las conclusiones y recomendaciones sobre estos resultados.

A continuación, se presenta el desarrollo de cada una de las etapas planteada en la metodología.

5 CONTEXTUALIZACIÓN DEL ENTORNO DEL SISTEMA ESTUDIADO

Con el fin de delimitar el alcance de esta investigación y analizar las características de los SEM, inicialmente se realiza una descripción general de este tipo de servicios. Posteriormente, se analizan y diagraman los procesos involucrados con el uso, aprovisionamiento y consumo de medicamentos en un SEM real que sirve como referencia para este trabajo.

Para el desarrollo de este trabajo, se contó con un sistema que sirve como referencia, Coomeva Emergencias Médicas sede Medellín. De ahora en adelante se hará referencia a Coomeva Emergencias Médicas como el SEM de estudio o simplemente CEM.

5.1. Características generales de los SEM

Los SEM prestan servicios de transporte asistencial de pacientes, los cuales pueden ser de dos tipos: transporte asistencial básico (TAB) y transporte asistencial medicalizado (TAM), cuyas definiciones se encuentran a continuación [70].

- TAB: es el traslado de un paciente en un medio de transporte terrestre, marítimo y/o fluvial que debe contar con una dotación básica para dar atención oportuna y adecuada al paciente durante el desplazamiento.
- TAM: es traslado de un paciente en un medio de transporte terrestre, marítimo y/o fluvial o aéreo, que se encuentra críticamente enfermo y que debe contar con una dotación de alto nivel tecnológico para dar atención oportuna y adecuada a pacientes cuya patología amerite el desplazamiento en este tipo de unidades.

En Colombia, este tipo de sistemas está regido por la resolución 2003 de 2014 del Ministerio de Salud y Protección social, en la cual se definen las características de los



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

SEM con respecto a: talento humano, infraestructura, dotación, medicamentos, dispositivos médicos e insumos, procesos prioritarios e historia clínica y registros. A continuación se describen los aspectos mencionados y las generalidades que se consideran para cada aspecto, dentro de resolución 2003 de 2014 para transporte asistencial de pacientes [70]:

Talento Humano: Se refiere a las condiciones que debe tener el recurso humano involucrado en la prestación de los servicios ofrecidos [70]. Para los SEM, se definen las características del grupo de profesionales que se asigna a un vehículo, el cual incluye perfiles profesionales de médicos, enfermeras (os), auxiliares de enfermería, tecnólogos en atención prehospitalaria, técnicos profesionales en atención prehospitalaria y conductores de acuerdo al tipo de transporte asistencial (TAB o TAM) y se definen las características que debe tener el coordinador del servicio.

Infraestructura: se refiere a las condiciones y el mantenimiento de la infraestructura de las áreas asistenciales o características de ellas, que condicionen procesos críticos asistenciales [70]. Para la infraestructura, la resolución 2003 de 2014, define las características que deben cumplir los SEM con respecto a los vehículos en términos de carrocería, luces exteriores, condiciones generales del interior del vehículo y sistema sonoro. Para la sede de prestación del servicio, se definen sus características y los ambientes con los que debe contar el SEM de acuerdo al tipo medio de transporte asistencial (terrestre, fluvial y/o marítimo).

Dotación: se refiere a las condiciones, suficiencia y mantenimiento de los equipos médicos, que determinen procesos críticos institucionales [70]. En la dotación descrita en la resolución 2003 de 2014, se incluyen equipos médicos y herramientas que deben contener los vehículos de acuerdo al tipo de transporte asistencial prestado (TAB o TAM).

Medicamentos, Dispositivos Médicos e Insumos: se refiere a los medicamentos, homeopáticos, Fito terapéuticos, productos biológicos, componentes anatómicos, dispositivos médicos (incluidos los sobre medida), reactivos de diagnóstico in vitro, elementos de rayos X y de uso odontológico; así como de los demás insumos asistenciales que utilice la institución incluidos los que se encuentran en los depósitos o almacenes del prestador, cuyas condiciones de selección, adquisición, transporte, recepción, almacenamiento, conservación, control de fechas de vencimiento, control de cadena de frío, distribución, dispensación, uso, devolución, seguimiento al uso y disposición final, condicionen directamente riesgos en la prestación de los servicios [70]. Para los SEM, la norma exige que los vehículos deben contar con una lista de medicamentos e insumos, de acuerdo al tipo de servicio asistencial ofrecido (TAB o TAM), para algunos de ellos se especifica referencia y la cantidad (ej. dextrosa en agua destilada al 10% 500cc 1 unidad), para otros sólo se especifica la referencia (ej. el Midazolam 5mg ampollas) y en otras ocasiones sólo se especifica el tipo de referencia que se debe tener en el inventario (ej. cuenta con medicamentos para atender una urgencia cardiopulmonar).

Procesos Prioritarios: se refiere a la existencia, socialización y gestión del cumplimiento de los principales procesos asistenciales, que condicionan directamente la prestación con



calidad a través de guías, protocolos o manuales para determinados procesos de acuerdo a los servicios ofrecidos [70].

Historia clínica y registros: se refiere a la existencia y cumplimiento de procesos que garanticen el registro de la historia clínica por paciente y las condiciones técnicas de su manejo y el de los registros de procesos clínicos diferentes a la historia clínica que se relacionen.

5.2. Análisis del sistema de referencia

Para realizar el análisis de CEM y de los procesos relacionados con el aprovisionamiento y consumo de medicamentos en el sistema referencia, se realizaron aproximadamente 10 visitas a CEM. En las visitas mencionadas, se realizaron entrevistas semiestructuradas al personal administrativo y operativo del sistema. Posteriormente se realizó una diagramación en Bizagi Process Modeler, se validaron los resultados de la diagramación con el CEM y se identificaron las necesidades del sistema en cuanto a gestión de medicamentos. A continuación, se presentan los principales aspectos de la diagramación realizada. Los procesos detallados sobre la administración actual de medicamentos en el CEM, pueden ser consultados en el documento anexo: **“Diagramación del sistema”**.

El CEM, es un servicio médico asistencial de tipo domiciliario con características pre-hospitalarias que opera en Barranquilla, Bogotá, Cali, Cartagena, y Medellín. CEM presta cuatro servicios a sus usuarios: emergencia, urgencia, consulta y traslado. Para CEM, una emergencia se define como una alteración de la integridad física, funcional o psíquica por cualquier causa que compromete la vida o funcionalidad de la persona y que requiere de la protección inmediata de servicios de salud, a fin de conservar la vida y prevenir consecuencias críticas presentes o futuras [71]. Una urgencia es un evento de aparición súbita, que no implica riesgo inmediato para la vida, pero que requiere de atención médica de manera oportuna para evitar que la condición del paciente empeore [71]. La consulta es una atención para patologías no complejas que no comprometen la vida del paciente y el Traslado es el transporte de pacientes en ambulancias, ya sean medicalizadas o básicas, a un hospital o centro de salud con la finalidad de que estos sean atendidos en la fase hospitalaria [71].

La determinación del tipo de servicio, se realiza por un operador al momento de recibir cada solicitud de atención de forma telefónica, con base en los síntomas descritos por el usuario. Una vez definido el tipo de servicio, se determina la prioridad de los mismos, si es necesario una unidad de atención y cuál debe atender el evento. La unidad de atención se refiere al conjunto compuesto por una móvil, una tripulación compuesta por al menos un médico y un operador y su dotación biomédica (medicamentos, insumos y equipos). En este sistema se encuentran los siguientes tipos de vehículos: ambulancias medicalizadas (TAM), ambulancias básicas (TAB) y vehículos de consulta. La cantidad de vehículos disponibles en CEM son: 2 ambulancias TAM, 5 ambulancias TAB y 16 vehículos de consulta. La dotación de medicamentos para los vehículos de consulta y las TAB contiene las mismas referencias y el mismo número de unidades de cada referencia. Las TAM tienen una dotación de cantidad de unidades de referencias mayor, con respecto



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

a los vehículos de consulta y las TAB, y además cuenta con cinco referencias de medicamentos de más que corresponden a los medicamentos de control.

En el caso de CEM, la dotación se configuró con base en la resolución 2003 de 2014 [70], las guías básicas de atención médica prehospitalaria edición del 2012 [72], entre otras. Adicionalmente, se establece el mismo estándar de dotación para vehículos de consulta y ambulancias TAB. Con respecto al estándar de dotación TAM, se toma como base el estándar TAB y se incluyen cinco referencias más de medicamentos en comparación al inventario de las TAB y se aumenta la cantidad de unidades por referencia para algunos medicamentos. CEM cuenta con un inventario con más referencias y mayor cantidad de unidades por referencia de las que exige la norma para la mayoría los medicamentos (ej.: se cuentan con 2 unidades de dextrosa en agua destilada al 10% 500cc en el inventario de todos los vehículos, mientras que la norma exige 1 unidad).

El proveedor de medicamentos de CEM, consta de una farmacia externa al sistema, la cual, de forma contractual, está comprometida a garantizar el aprovisionamiento inmediato del estándar de dotación definido por la Dirección Nacional de CEM para cada unidad móvil. Todos los medicamentos entregados por el proveedor deben contar con al menos un año de vigencia hasta su fecha de vencimiento. Con el fin de dar cumplimiento a lo anteriormente mencionado, la farmacia cuenta con un puesto de entrega para el abastecimiento de las unidades móviles dentro de la sede CEM-Medellín.

Con el fin de estudiar y analizar los procesos relacionados con la gestión de medicamentos en los SEM, se analizaron y diagramaron los procesos relacionados con el aprovisionamiento y consumo de los mismos. Dado que la farmacia es un ente externo, la administración de sus recursos de este no se considera dentro del alcance de este estudio y será denominada como proveedor. Cada vehículo prestador el servicio funciona de forma independiente y contiene un inventario de medicamentos propio, por esta razón de aquí en adelante se tratará cada vehículo como una bodega.

Es importante resaltar que, con el fin de garantizar la calidad del servicio y derivado de la normatividad colombiana, para el SEM referencia es primordial que todos los vehículos comiencen cada turno con el inventario igual a un estándar de dotación previamente definido, por esta razón el aprovisionamiento de los vehículos se debe realizar cada vez que comienza un turno para cada vehículo.

La *Imagen 1* describe a grandes rasgos los procesos relacionados con la administración actual de medicamentos en CEM, desde que los medicamentos son entregados a la tripulación por la farmacia, hasta que la tripulación finaliza turno y una nueva orden de reposición se envía a la farmacia.

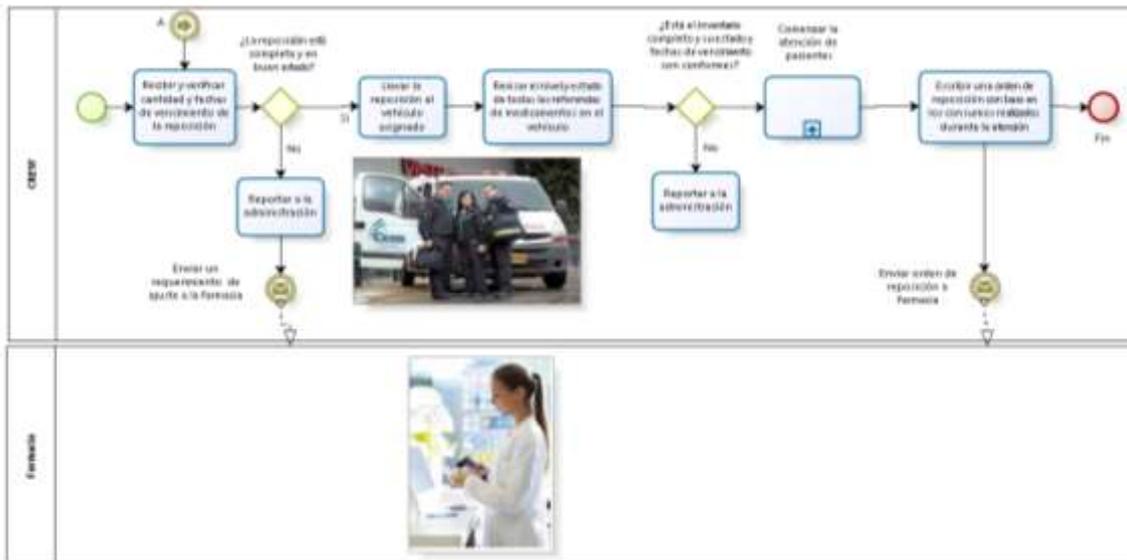


Imagen 1. Aprovisionamiento y consumo de medicamentos en CEM

Actualmente, cada tripulación debe contar físicamente la cantidad de medicamentos en el vehículo asignado y compararlo con el estándar de dotación para verificar la exactitud del inventario, lo cual asciende aproximadamente a 350 unidades. Adicionalmente, se debe verificar que la fecha de vencimiento de todas las unidades tenga más de 4 meses de vigencia a su fecha de vencimiento y que las unidades no estén averiadas o contaminadas. Para realizar la revisión descrita previamente, la tripulación cuenta con 15 minutos, en dicho lapso también se deben verificar la conformidad del estado de los vehículos, los equipos y los insumos de la unidad asignada.

La diagramación, deja en evidencia que la revisión de medicamentos no se realiza o es realizada de forma incompleta, debido a que el tiempo dedicado a la revisión del inventario por la tripulación, disminuye el tiempo dedicado a la atención de usuarios del sistema. Lo anterior deriva en la presencia de averiados, unidades con fechas de vencimiento menores a 4 meses y diferencias de más y de menos con respecto al estándar de dotación del inventario de los vehículos, todo lo anterior sin que la tripulación o la administración tengan conocimiento de dichos eventos. A causa de la inexactitud del inventario se han presentado faltantes en las atenciones, lo cual genera reposiciones bodega a bodega, las cuales implican que una unidad móvil debe desplazarse al lugar de la atención del vehículo con el faltante. Las reposiciones bodega a bodega generan gastos para el sistema relacionados con los recursos asociados al desplazamiento y disminuyen la capacidad de respuesta del sistema.

Adicionalmente, se detectó que se han presentado faltantes en la reposición de la farmacia y que las mismas en ocasiones no son conocidas por la administración. Lo anterior puede afectar la calidad del servicio y la seguridad del paciente.

6 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENTRADAS DEL MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS.

En esta investigación se consideran la demanda, el tipo de revisión, el tiempo de reposición y la clasificación multicriterio como variables de decisión, las cuales en este capítulo son caracterizadas. El resultado de dicha caracterización, constituye la base para la selección de un modelo de gestión de inventarios de medicamentos para el CEM, a partir del cual se generarán políticas de control y gestión de inventarios (ver *Imagen 2*).

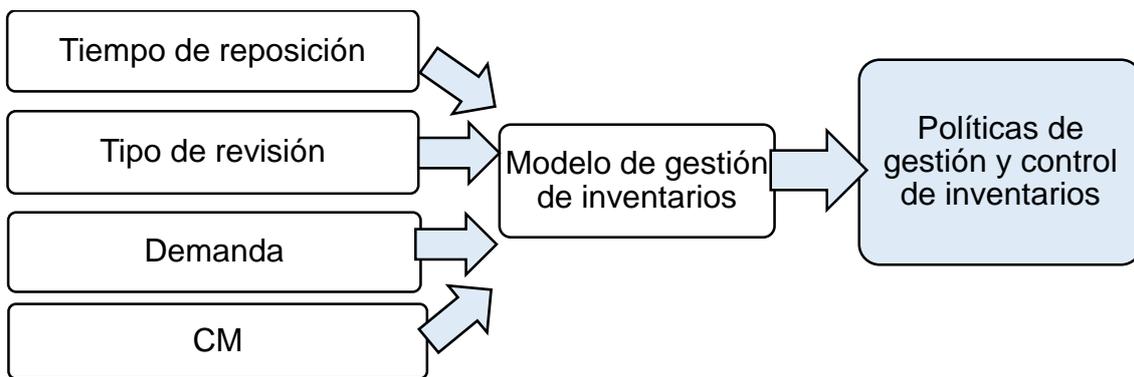


Imagen 2. Esquema del modelo de gestión de inventarios.

En la caracterización de las variables de decisión del modelo, se parte de dos fuentes de información: la diagramación descrita la sección 5.2 y una base de datos suministrada por CEM. La información suministrada por el SEM referencia, consta de los reportes mensuales de los consumos de 58 referencias de medicamentos, los cuales representan el total de medicamentos usados en el sistema para la prestación del servicio. La base de datos suministrada, contiene registros entre enero de 2013 y octubre de 2014.

A continuación, se describe la caracterización de cada uno de los elementos consideradas como entrada para el modelo de gestión de inventarios:

6.1 Tiempo de reposición (TR)

De acuerdo a las características de CEM, se asume que el tiempo de reposición es cero, debido a que de forma contractual el proveedor de medicamentos está condicionado a que la entrega reposición, debe ser atendida inmediatamente se entrega la solicitud.

6.2 Tipo de revisión

En relación a la revisión del inventario, las características de CEM definen que cada vez que el vehículo sale a prestar los servicios debe iniciar con su inventario en el nivel que se determina mediante estándar de dotación, que la reposición de inventario sólo puede ocurrir en la base y que el examen continuo del inventario en durante prestación del servicio supone el entorpecimiento del mismo. Con base en lo expuesto anteriormente, se determina que el tipo para este caso debe ser periódico.



6.3 Demanda

Para el desarrollo de este trabajo, es importante resaltar que la demanda analizada, es la demanda atendida, la cual corresponde a los consumos realizados en las atenciones. La determinación de las características de la demanda, se realiza siguiendo la metodología descrita en la sección 3.2.1.

Dada la cantidad de referencias usadas en el CEM, se realiza un análisis de Pareto de los medicamentos con el fin de determinar los artículos que representan el mayor volumen de consumos en el sistema. Así, se obtiene una lista de 11 medicamentos que representan aproximadamente el 80% del volumen de referencias de medicamentos consumidos en el sistema (denominado como porcentaje de representación), según el histórico analizado.

Sobre los datos seleccionados, se emplea la *Ecuación 1* con el fin de determinar el CV. Según los resultados observados del cálculo del CV en los datos analizados, todas las referencias, presentan un CV por debajo de 100% y por debajo del 25%, lo cual indica que la demanda es perpetua o uniforme como se puede observar en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Análisis de variación de la demanda

Medicamento	% representación	% de representación acumulada	CV	Valor P Modelo de regresión lineal para β_1	Cor (y, t)
Ketorolaco	12%	12%	7%	0.10	0,36
Cloruro de sodio 100 ml	11%	23%	12%	0.05	0,66
Dipirona	11%	34%	13%	0.00	0,44
Dexametasona	9%	43%	11%	0.04	0,66
Hioscina n-butyl bromuro	8%	50%	11%	0.29	0,17
Alizapride	6%	57%	14%	0.00	0,44
Tramadol	6%	63%	12%	0.01	0,50
Ranitidina	6%	69%	10%	0.02	0,09
Cloruro de sodio 500 ml	5%	74%	13%	0,29	0,23



Clemastina	4%	78%	12%	0,57	0,13
Diclofenaco	3%	81%	16%	0,01	0,52

Luego de determinar los valores del CV, se analiza el comportamiento de la demanda gráficamente para determinar si hay evidencias de tendencias. La **Imagen 3**, presenta parte de los datos analizados del sistema referencia, allí se evidencia que el comportamiento de los datos es aparentemente estable. Adicionalmente y con base en las consideraciones plasmadas en la sección 4.2.1, se corre el modelo de regresión lineal para cada serie de datos. Como se puede observar en la **Tabla 12** y dado que no se cumple que $\hat{\beta}_1$ sea significativo y que $|cor(y, t)| \rightarrow 1$ para los datos estudiados, se concluye que la demanda no presenta tendencias crecientes, ni decrecientes. Cabe notar que los medicamentos restantes, del total de referencias analizadas, muestran un comportamiento similar.

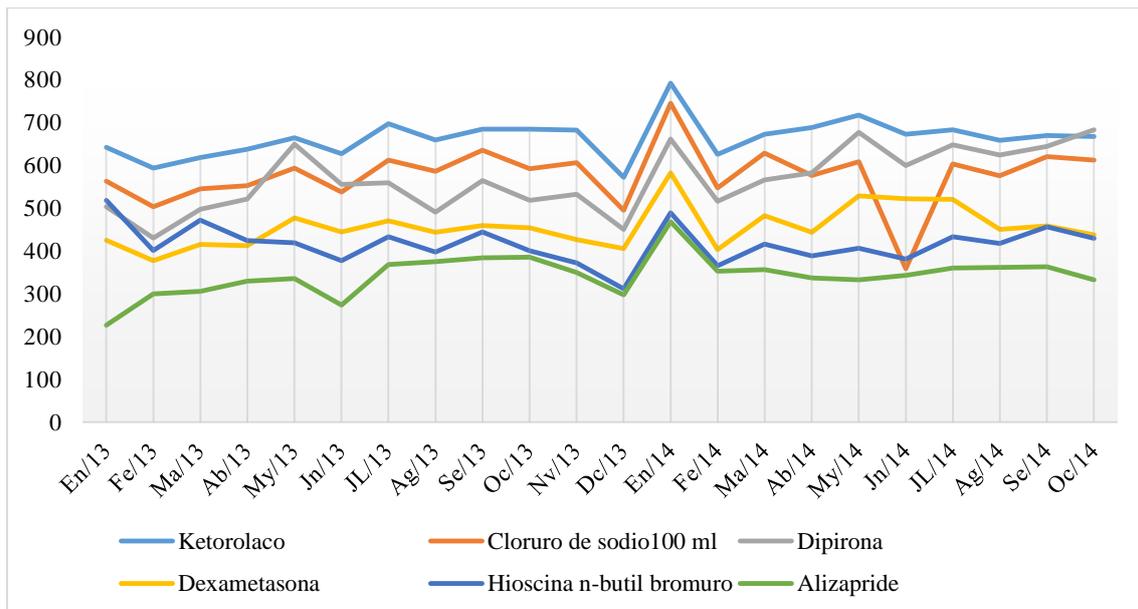


Imagen 3. Comportamiento de la demanda en el periodo estudiado para Ketorolaco, Cloruro de sodio 100ml, Hioscina n.-butil bromuro, Dipirona, Dexametasona y Alizapride.

- **Resultados y hallazgos**

Con base en estos resultados del CV y el análisis gráfico de los consumos en el periodo de análisis, se determinó que se trata de una demanda estocástica estacionaria, pero sin estacionalidad. El comportamiento de los datos es regular con poca variación, lo cual indica que, aunque la demanda no es conocida exactamente, se presenta un comportamiento aproximadamente determinístico.



6.4 Clasificación multicriterio

La CM se realiza siguiendo la metodología descrita en la sección 3.2.2. Inicialmente se seleccionan los criterios que deben cumplir los expertos del sistema, los cuales son que deben conocer los procesos de aprovisionamiento y consumo de medicamentos en SEM, deben llevar al menos 3 años trabajando en entornos prehospitalarios y deben ser de cargos tanto administrativos como operativos para tener una perspectiva amplia en los resultados de la CM. Así, el CEM proporcionó 10 expertos para realizar la CM. Una información ampliada incluyendo cargo, funciones principales y años de experiencia en entornos prehospitalarios de cada evaluador puede ser consultada en el Anexo A.

Luego se consultó en la literatura criterios utilizados para clasificación multicriterio de inventarios. Los resultados fueron adaptados y validados con los expertos en el sistema referencia. Como resultado, a continuación, se presentan los criterios seleccionados para la clasificación multicriterio en el sistema referencia:

- Cantidad: número de unidades consumidas en el periodo de clasificación.
- Cambios: número de unidades solicitadas en cambio. Cuando un medicamento está próximo a llegar a la fecha de vencimiento, pero aún tiene entre cuatro y cinco meses de vida útil, el sistema puede solicitar un cambio sin costo adicional, recibiendo un artículo con una fecha de vencimiento superior a un año.
- Vencidos: número de artículos que están próximos a llegar a la fecha de vencimiento y tiene menos de cuatro meses de vida útil o ya sobrepasó su fecha de vencimiento.
- Faltantes: número de unidades faltantes en la reposición por parte del proveedor en el periodo de clasificación.
- Exceso de inventario: número de unidades que sobrepasan el inventario de dotación de los vehículos en el sistema, en el periodo de clasificación.
- Costo: costo del medicamento.

Con el fin de asignar pesos a los criterios seleccionados, los expertos suministrados por el sistema referencia, califican por pares dichos criterios con base en la **Tabla 4**. Los resultados de las evaluaciones, son integrados por medio de la media geométrica en una matriz, la cual es posteriormente normalizada para obtener una matriz evaluaciones consolidada y normalizada (ver **Tabla 13**).

Tabla 13. Matriz de evaluaciones consolidada y normalizada.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0,33	0,44	0,37	0,32	0,22	0,25
C2	0,09	0,12	0,14	0,12	0,19	0,22
C3	0,17	0,17	0,19	0,24	0,19	0,16



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

C4	0,19	0,18	0,15	0,19	0,27	0,18
C5	0,15	0,06	0,10	0,07	0,10	0,13
C6	0,08	0,03	0,07	0,06	0,04	0,06

Sobre la matriz de evaluaciones consolidada y normalizada, es calculado el vector de prioridades para determinar los pesos de los criterios. Con la **Ecuación 3** se estima el coeficiente para determinar si el análisis es consistente. Así, los pesos de los criterios son los presentados en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Pesos de los criterios de la CM

Criterio	Peso
Faltantes	32%
Cantidad	19%
Vencidos	18%
Cambios	15%
Exceso	10%
Costo	6%

Los puntajes de calificación para cada artículo en el inventario, se determinan por medio de la **Ecuación 4** y la **Ecuación 5**. Con los puntajes de clasificación calculados, se procede a realizar el agrupamiento de los ítems por medio de la metodología de agrupamiento k-medias (AHP+K-medias). Adicionalmente, se realiza otra clasificación para los mismos artículos, usando el AHP con los mismos parámetros para la puntuación y Pareto como metodología de agrupamiento (AHP+P) y finalmente se realiza una clasificación ABC tradicional (ABC-T) con el fin de comparar los resultados obtenidos. Los resultados finales son presentados en el **anexo B**.

La Clasificación AHP+K-medias, ubica 8 de los 58 artículos en el inventario como A, 12 como B y 38 como C. Dentro de los artículos pertenecientes al grupo A, se encuentran aquellos que presentan la calificación normalizada máxima (1) para los criterios cantidad, cambios y vencidos, lo cual representa que los artículos que han presentado mayor cantidad de cambios, vencidos y cantidad de unidades consumidas en el sistema, son ubicados en el grupo al cual se le debe prestar más atención en términos de gestión y control de inventarios.

Por otro lado, la CM con un el AHP como metodología de puntuación y Pareto como metodología de agrupación AHP+P (AHP+P), clasifica 12 artículos del grupo en A, 16 artículos como B y 30 son clasificados como C, siendo los grupos A y B seleccionados

por esta metodología de agrupamiento más grandes que los grupos A y B formados por K-Medias. En la clasificación ABC tradicional (ABC-T) para los mismos artículos, 4 ítems fueron clasificados como A, 11 como B y 47 como C.

En las imágenes 1, 2 y 3 se muestran los artículos clasificados en cada grupo A, B y C respectivamente, por los tres métodos de clasificación. En la imagen 1 podemos apreciar que ningún artículo es clasificado como A por los tres métodos de clasificación observados. Esto se puede atribuir a que la ABC-T usa una metodología de puntuación que solo tiene en cuenta el uso anual del dinero como criterio de clasificación, mientras que la AHP+K-medias y la AHP-P utilizan el mismo método de puntuación, el cual está influenciado por los faltantes en la reposición del proveedor, la cantidad consumida, las unidades vencidos, las unidades en exceso y el valor de los artículos usados en el sistema.

Adicionalmente, podemos observar que la clasificación AHP+K-medias y la AHP-P, ubicaron en el grupo A cuatro artículos que cuentan con la máxima calificación normalizada para algunos de los criterios, lo cual evidencia que estas clasificaciones tienen en cuenta los criterios considerados como importantes para el CEM.

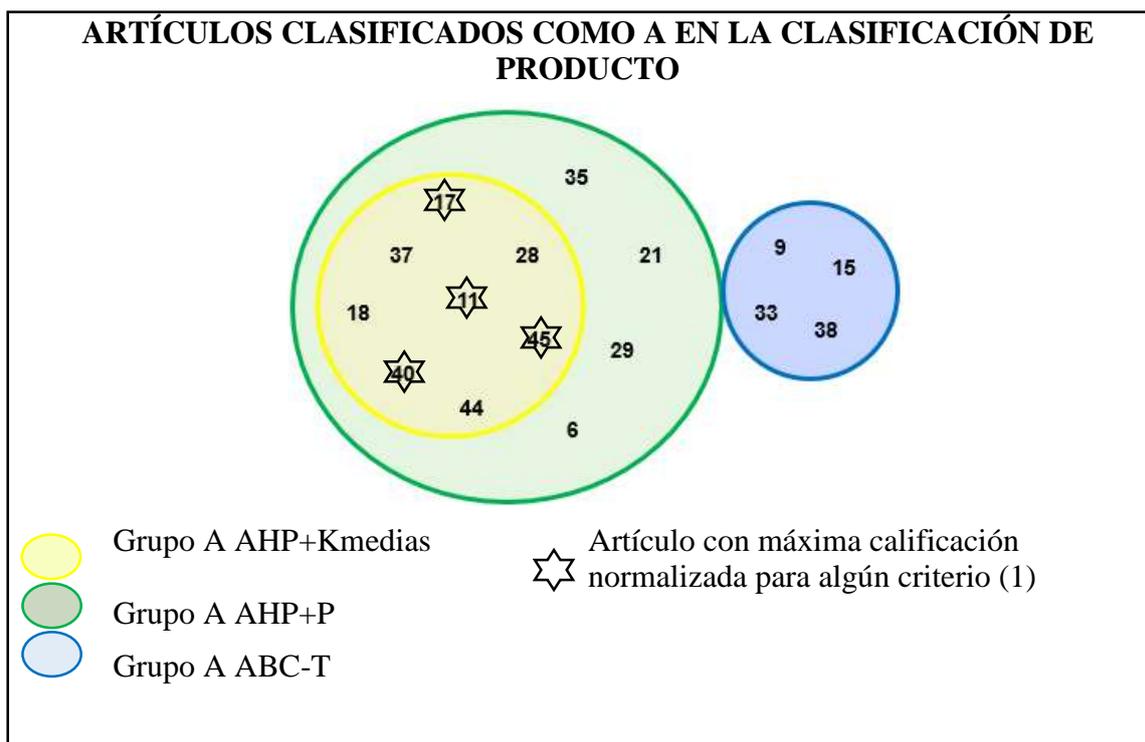


Imagen 4. Artículos clasificados en el grupo A

En la imagen 2 podemos observar que hay un artículo clasificado como B por los tres métodos considerados. Adicionalmente podemos observar que dos artículos con la máxima calificación normalizada para alguno de los criterios, son clasificados como B por el método AHP+K-medias (artículo 5) y el método ABC-T (artículo 40).

Como podemos observar en la Tabla 36, el artículo 5 presenta una calificación de 1 para el criterio con menor peso (costo 6%), por lo cual cobra sentido el hecho de que las metodologías AHP+K-medias y AHP+P clasifiquen este artículo como B. Por su parte, el artículo 40 presenta una calificación normalizada máxima para el criterio cantidad, el cual es el criterio con mayor peso de los criterios con información disponible para la clasificación de producto.

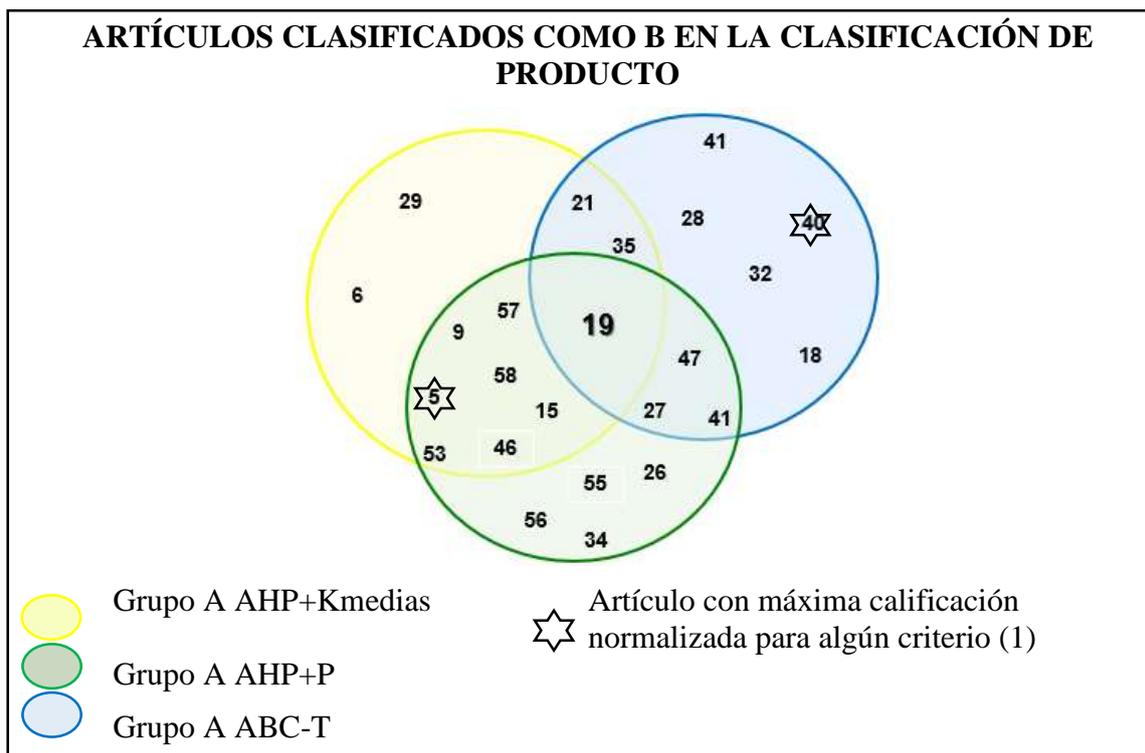


Imagen 5. Comparación artículos clasificados en el grupo B

La imagen 3 muestra que las áreas de intersección entre los tres métodos de clasificación son mayores, sin embargo, es importante resaltar que el grupo C corresponde a los artículos a los cuales la administración debe prestar menor atención en términos de control.

En la imagen 3, se observa que el método ABC-T clasifica cuatro artículos con mayor incidencia en los criterios (representados como los artículos con un 1 en la calificación normalizada) como C, mientras que los métodos AHP + Kmedias y AHP+P clasificaron estos mismos artículos como A o B. Lo anterior indica que los métodos de puntuación AHP y el uso anual del dinero, difieren en la conformación de los grupos de clasificación y por ende en las prioridades de control que la administración ejerce sobre sus respectivos artículos.

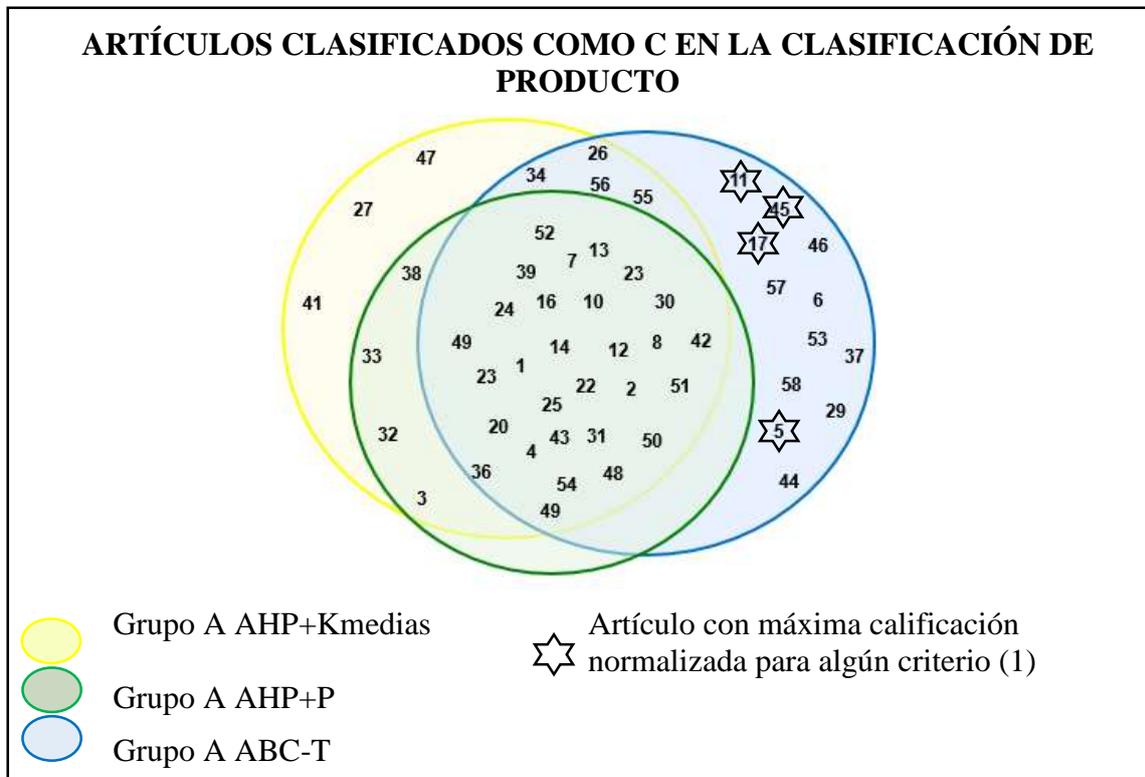


Imagen 6. Comparación artículos clasificados en el grupo C

La similitud de artículos clasificados en el mismo grupo de artículos clasificados en los mismos grupos, entre AHP+K-medias y el AHP+P es del 81%. La similitud entre el AHP+K-medias y ABC-T es del 58%, teniendo en cuenta que el mayor número de coincidencias clasificación de artículo ocurre para el grupo C.

7 MODELO DE GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS PARA EL CASI DE ESTUDIO.

Para la totalidad de los medicamentos que se usan en el CEM, la reposición del inventario se realiza en un sitio determinado (base) cuando los vehículos no están prestando el servicio, y sus niveles deben ser acordes con un estándar de dotación previamente definido para cada bodega siempre que se comience un turno.

Actualmente, el control de fechas vencimiento, averías y nivel del inventario, se realiza a la par con el reorden de los medicamentos, si bien se requiere que el reaprovisionamiento de los artículos sea realizado de forma regular, el estudio realizado del CEM evidenció que no se cuenta con la capacidad de realizar el control de los inventarios con la misma regularidad con la que se reciben los pedidos para reponer el inventario en el sistema, lo cual ocurre dos veces al día por vehículo.

Con base en lo mencionado previamente, se propone separar los conceptos de reorden y revisión de inventario. En relación al reorden o aprovisionamiento de medicamentos, se selecciona un modelo de gestión de inventarios de la literatura consultada considerando



las entradas previamente definidas y se adapta a las características de CEM. A partir de allí, se generan políticas de gestión de inventarios relacionadas con el reorden de artículos. En cuanto a la revisión de los inventarios, se plantea una revisión sistemática basada en las prioridades de administración resultantes de la CM, la cual permite garantizar la inspección de todos los medicamentos en periodos de tiempo para cada grupo de clasificación. A partir de las revisiones sistemáticas, se generan políticas de gestión de inventarios relacionadas con el control de los mismos. Finalmente, se determinan los parámetros específicos de reorden y revisión de inventario para el CEM. Las secciones mencionadas son presentadas a continuación.

7.1 Selección modelo de gestión de inventarios

En la selección del modelo de gestión de inventarios, se toma en consideración que la demanda que se presenta es estocástica-perpetua, el tiempo de reposición es cero y el tipo de revisión en el sistema de referencia es periódico. Adicionalmente, se determina que el tipo de control que se debe ejercer sobre todos los artículos es conjunto, ya que independientemente de su grupo de clasificación, todos deben ser reaprovisionados al mismo tiempo. Con base en los argumentos expuestos, se determina seleccionar un modelo de gestión de inventarios con control conjunto y revisión periódica para casos de demanda estocástica, adaptándolo a las características del sistema de referencia.

En el modelo seleccionado, se define un periodo de reorden T (en unidades de tiempo) para todos los ítems de forma común, en el cual se ordenan cantidades diferentes para cada referencia con base en la diferencia entre el inventario efectivo (IE) al momento de la revisión, y una meta de unidades determinada de forma individual para cada referencia (S) [43] [73]. El inventario efectivo, es también conocido como la posición del inventario e involucra el inventario físico en las bodegas, los pedidos pendientes por llegar y las ordenes comprometidas con el usuario [13].

Al elegir el parámetro de inventario meta S , se debe considerar el inventario de seguridad (ss); así S debe ser lo suficientemente grande para que el inventario dure hasta el próximo aprovisionamiento. Según la literatura, S debe ser por lo menos igual a la demanda esperada por unidad de tiempo (\bar{D}) durante $(T+\beta)$ donde β es el tiempo de reposición, más el inventario de seguridad ss . El cálculo de S , pueden ser realizado por medio de la **Ecuación 7** [13].

$$S = \bar{D} (T + \beta) + ss$$

Ecuación 7. Cálculo de metas S

Por otro lado, el parámetro T puede ser elegido según la conveniencia del sistema o se determina con base en la siguiente ecuación [5] [73]:

$$T = \sqrt{\frac{2[A + \sum_{i=1}^n a_i]}{r \sum_{i=1}^n d_i v_i}}$$

Ecuación 8. Cálculo de periodos de revisión



Donde:

A = costo fijo de ordenamiento de un pedido, el cual depende del tamaño de la orden y la suma correspondiente al costo de incluir cada artículo i en el pedido de reposición, a_i [13].

r = costo de mantener el inventario. Este costo, se calcula con base en los costos de almacenamiento y manejo, el costo del espacio utilizado, los costos de capital, los seguros e impuestos del lugar donde se mantiene el inventario, entre otros [13] y representa la proporción entre el dinero que hay que pagar por cada peso invertido en inventario cada año [13].

d_i = corresponde a las demanda del artículo i expresada en días.

v_i = representa el costo del artículo i .

7.2 Revisión sistemática del inventario

La duración de los turnos de operación en CEM para una tripulación, es de ocho horas. Cada que se inicia un turno en CEM, los operadores y médicos deben registrar su ingreso, recibir y verificar la reposición del turno anterior, comprobar que el vehículo es apto para prestar el servicio, inspeccionar el nivel, fechas de vencimiento y averías del inventario y reportar las novedades halladas. Todo lo anterior, debe realizarse a la mayor brevedad posible con el fin de dar comienzo a la atención de pacientes. Es importante considerar que un indicador de rendimiento de CEM, es que cada médico debe atender al menos 8 pacientes durante un turno. De acuerdo a datos del CEM, la inspección completa del inventario tiene una duración de entre 45 a 60 minutos, lo cual sumado al número de pacientes que deben ser atendidos en un turno y la presión de la administración por que el mayor número de vehículos programados para la operación estén disponibles, deriva en que las inspecciones de los medicamentos no son realizadas a cabalidad.

Con base en lo descrito previamente, el objetivo de las revisiones propuestas en esta investigación, es generar políticas de control del estado y el nivel del inventario en CEM; que garanticen la inspección de todas las referencias, en lapsos de tiempo determinados a partir de las prioridades resultantes de la CM. Para lograr lo previamente descrito, se calculan tiempos de revisión para cada grupo de clasificación. Luego, se fracciona la cantidad de elementos en cada grupo, por su respectivo tiempo de revisión. De esta forma, se obtienen pequeños conjuntos iguales de referencias. A través de reglas de decisión se garantiza una única inspección de cada referencia en cada lapso de revisión. De esta forma, se reducen la cantidad de referencias que se inspeccionan en cada turno, pero se garantiza su observación en el tiempo calculado para ello.

Los tiempos de revisión (r_g) por cada grupo $g \in G = \{A, B, C\}$, se calculan usando la **Ecuación 9**. Note que la fórmula corresponde al cálculo teórico del parámetro T en el modelo de gestión de inventarios seleccionado en esta investigación, el cual es retomado en esta sección para calcular el tiempo de revisión del estado y el nivel de los inventarios. Es importante recordar que los lapsos de tiempo (r_g) que se calculan para las revisiones sistemáticas, tienen como objetivo verificar la conformidad el inventario con respecto al nivel, las fechas de vencimiento y las averías de los medicamentos, más no generar



pedidos de reposición como tradicionalmente se utiliza esta fórmula. Un sistema en particular podrá utilizar esta fórmula o fijar sus tiempos de revisión según sus consideraciones e intereses particulares.

$$r_g = \sqrt{\frac{2[A + \sum_{i \in G} a_i]}{r \sum_{i \in G} d_i v_i}} \quad \forall i \in G = \{A, B, C\}$$

Ecuación 9. Cálculo parámetro r_g

Una vez calculado r_g , se conocen los tiempos entre revisiones para cada grupo, los cuales pueden ser grandes para ser completados en un inicio de turno (2 veces al día para cada vehículo para el caso CEM). Tradicionalmente, r_g determina el tiempo en el cual se realiza el conteo y verificación de conformidad de todos los artículos pertenecientes a un grupo de clasificación, con el objetivo de generar una orden de reposición. En este caso, el abastecimiento del inventario funciona de forma independiente, por lo tanto, las revisiones que se tratan en esta sección, tienen como objetivo controlar el nivel y el estado del inventario.

Con el objetivo de reducir el tiempo que se dedica a la revisión de los inventarios, se propone calcular un tamaño de revisión (RS) para cada turno con base en cada r_g por medio de la **Ecuación 10**. RS indica el total de elementos de todos los grupos que deben ser inspeccionados por la tripulación en cada turno. RS se obtiene dividiendo cada tamaño de grupo s_g para $g \in G = \{A, B, C\}$, por el número de turnos sn_g para $g \in G = \{A, B, C\}$ que tienen lugar dentro del plazo de revisión r_g correspondiente, para cada grupo G (los resultados de cada división deben ser redondeados al número entero superior). Así, en cada turno se revisarán un número reducido de elementos, pero al mismo tiempo se garantiza que en cada periodo r_g , se revisan todos los artículos pertenecientes a cada grupo g.

$$RS = \left\lceil \frac{S_A}{sn_A} \right\rceil + \left\lceil \frac{S_B}{sn_B} \right\rceil + \left\lceil \frac{S_C}{sn_C} \right\rceil$$

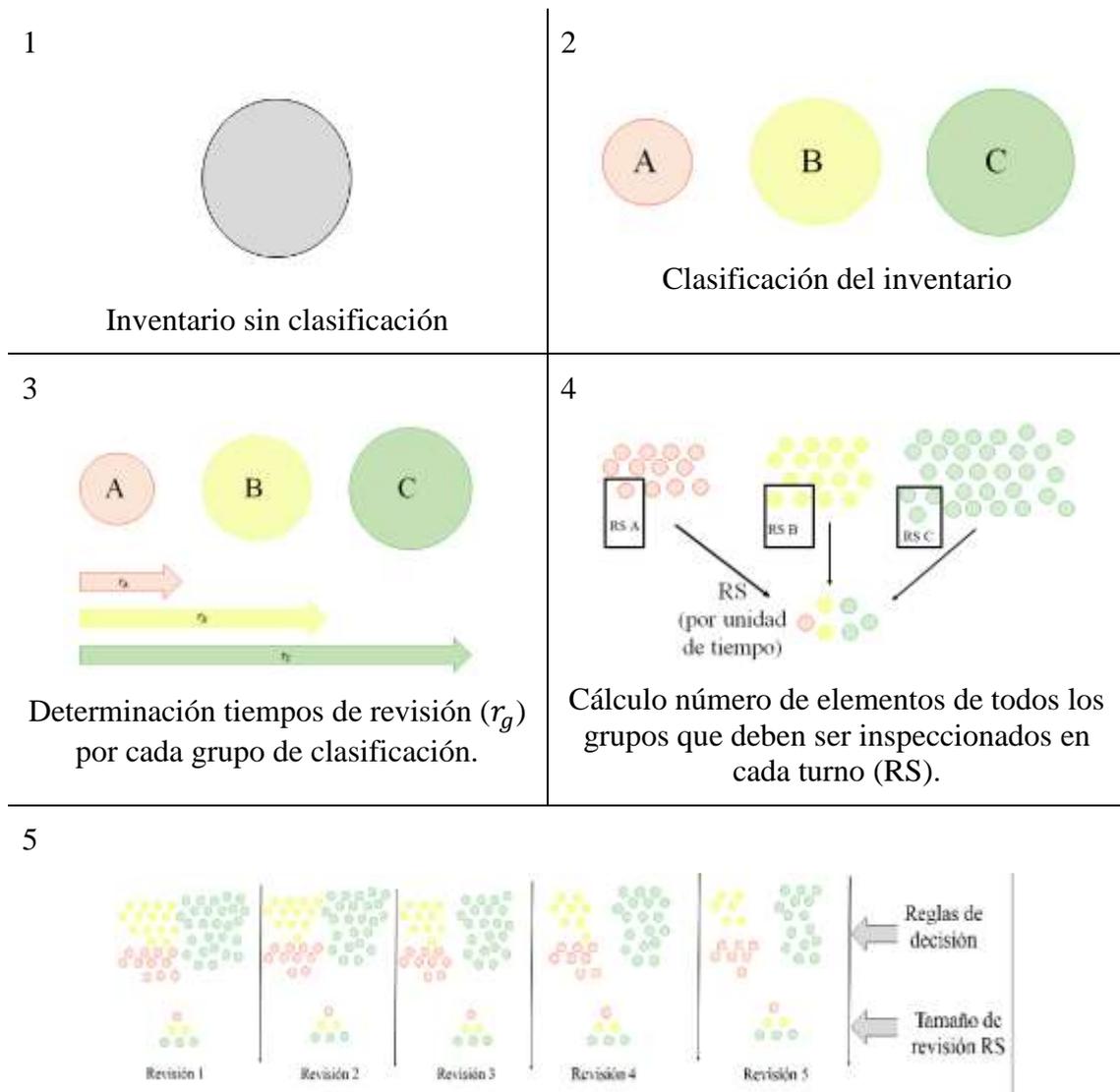
Ecuación 10. Cálculo tamaño de revisión

Luego de determinar los RS, se procede a fijar reglas de selección de artículos para garantizar que todos los elementos de cada grupo son inspeccionados. Las reglas de selección son presentadas a continuación:

- Listar de mayor a menor de acuerdo al puntaje arrojado por la CM, todas las referencias de cada grupo.
- Seleccionar en cada grupo de clasificación, la cantidad de artículos determinados por el tamaño de revisión RS.
- Los elementos seleccionados se marcan y no pueden ser revisados de nuevo, hasta que todos los elementos del grupo correspondiente sean revisados.

La **Imagen 7** muestra gráficamente el proceso de las revisiones sistemáticas.

Imagen 7. Descripción gráfica revisiones sistemáticas.



Conformación de cada conjunto de revisión por turno, de acuerdo a las reglas de decisión.

7.3 Políticas de gestión y control de inventarios para CEM

Una vez seleccionado el modelo de gestión de inventarios y fijadas las revisiones sistemáticas, procedemos a determinar los parámetros de los mismos a las características del CEM.



7.3.1 Ajuste del modelo seleccionado al CEM

Inicialmente, se determinan los parámetros S y T. La determinación de las metas S, se consideran fuera del alcance de este trabajo, ya que actualmente, el CEM cuenta con un estándar de dotación de medicamentos, en el cual se define el número de ítems que debe tener cada vehículo para todos los medicamentos. Así, se asumen los niveles determinados por el sistema referencia y consignadas en el estándar de dotación, como las metas S_i del modelo planteado.

En cuanto al periodo de reorden T, se determina seleccionar este parámetro de acuerdo a las características del sistema e iguales a los cambios de turno. Luego, T será igual al tiempo entre los turnos de las tripulaciones.

Para CEM, la determinación del inventario efectivo, IE , no incluye el conteo físico de todas las unidades del inventario, sino que se basa en registros escritos de los elementos que la componen (Con_i, Av_i, Ca_i y Sen_i), esto debido a la periodicidad del aprovisionamiento y restricciones de tiempo en la operación del servicio.

$$IE_i = \sum_{i=1}^I S_i - (Con_i + Av_i + Ca_i + Sen_i + Fal_i)$$

Ecuación 11. Inventario efectivo

Donde:

S_i = cantidad consignada en el estándar de dotación de medicamentos para cada artículo i

Con_i = consumo realizado en el periodo T para cada artículo i.

Av_i = averías que se hallan presentado durante el periodo T para cada artículo i.

Ca_i = cambios solicitados al proveedor de cada medicamento por fecha de vencimiento con vigencias entre 4 y 5 meses.

Sen_i = cantidad de artículos i sensibles a vencimiento encontrados.

Fal_i = cantidad de artículos i faltantes en reposiciones anteriores, los cuales corresponden a los pedidos pendientes por llegar.

Así, el tamaño de pedido Q , corresponde a las diferencias entre cada meta S_i y su IE correspondiente (ver *Ecuación 12*).

$$Q = \sum_{i=1}^I S_i - (IE_i)$$

Ecuación 12. Cálculo del pedido



7.3.2 Revisiones sistemáticas CEM

En esta sección se ajustan los parámetros de las revisiones sistemáticas de acuerdo a las características e información de CEM.

Los costos de ordenamiento son presentados en la **Tabla 16**, a partir de allí se tomó la decisión de dividir el costo total entre los tres grupos de clasificación ya que en cada orden de aprovisionamiento emitida, se revisa todo el inventario independientemente del número de referencias que formen cada grupo de clasificación. Adicionalmente, Coomeva Emergencias Médicas considera que sus costos de ordenamiento son comunes para todos los ítems.

Utilizando los resultados de la CM realizada previamente y la información suministrada por el sistema de referencia (ver **Tabla 15**), se calcularon los r_g para cada grupo de clasificación (ver **tabla 17**)

Tabla 15. Costo de mantener el inventario.

	Costo medicamentos año	86.601.897
	Costo de capital	5%
Costos de almacenamiento de inventarios	Arriendo (cuarto de inventario)	853.176
	Vehículos	7.010.856
	Costos de riesgo (vencidos)	164.187
		r
		12.358.314
		0,14270258

Tabla 16. Costo de ordenamiento

Costos de ordenamiento	
Comunicaciones Avantel	3.664
Canal De Datos	6.364
Útiles y Papelería	1.200
Costo verificación conformidad en recepción de la orden	5.202
Costo tiempo médico para emitir y documentar la orden	16.995
Costo manejo de facturas	11.756
Costo de interventoría de ordenes	11.069
Total	56.250



Tabla 17. Costos de mantener el inventario

Costos de mantener el inventario		
	Costo medicamentos año	86.601.897
	Costo de capital	5%
Costos de almacenamiento de inventarios	Arriendo	853.176
	Vehículos	7.010.856
	Costos de riesgo (vencidos)	164.187
		r
		12.358.314
		0,14270258

Tabla 18. Información para el cálculo de r_g en CEM

G	s_g	$\sum_{i \in G} d_i v_i$	$A + \sum_{i \in G} a_i$	r	r_g	
	Referencias	\$/mes	\$/orden	% anual	Mes	Días
A	12	6.113.766	18750	15	0,70	21
B	15	5.811.632	18750	15	0,72	22
C	31	1.305.447	18750	15	1,52	45

Luego, teniendo en cuenta que las unidades del tiempo de revisión de grupo r_g son días y que cada vehículo realiza dos turnos por día, se establece la **Ecuación 13** para el cálculo s_n .

$$s_n = \text{número de turnos por día} * r_g$$

Ecuación 13. Cálculo s_n para CEM

Finalmente, considerando la información presentada en la en la

	Costo medicamentos año	86.601.897
	Costo de capital	5%
Costos de almacenamiento de inventarios	Arriendo	853.176
	Vehículos	7.010.856
	Costos de riesgo (vencidos)	164.187
		r
		12.358.314
		0,14270258

Tabla 18 y la **Ecuación 13**, se calcula el r_s para CEM con los datos disponibles a la fecha del análisis.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

$$\text{CEM RS} = \left[\frac{12 \text{ A referencias}}{\frac{2 \text{ turno}}{\text{día}} * 21 \text{ día}} \right] + \left[\frac{15 \text{ B referencias}}{\frac{2 \text{ turno}}{\text{día}} * 22 \text{ día}} \right] + \left[\frac{31 \text{ C referencias}}{\frac{2 \text{ turno}}{\text{día}} * 45 \text{ día}} \right]$$

$$\text{CEM RS} = \frac{1 \text{ A referencias}}{\text{turno}} + \frac{2 \text{ B referencias}}{\text{turno}} + \frac{1 \text{ C referencias}}{\text{turno}}$$

Los resultados indican que se deben revisar una referencia del grupo A, dos referencias del grupo B y 3 referencias del grupo C cada vez que se inicia un turno. Como puede notar, los grupos de clasificación tienen diferentes tamaños, el grupo A es el más pequeño con 12 referencias, seguido del grupo B con 15 y del C con 42 referencias. Inspeccionando el inventario de acuerdo a los resultados del “CEM RS” y bajo las reglas de selección previamente descritas, en un lapso de tiempo se revisan con mayor frecuencia las referencias A, en comparación con las referencias de los otros grupos de clasificación. Así, tomando el periodo de revisión de grupo c, en 13 días se habrán revisado al menos una vez todas las referencias del grupo C, aproximadamente 2 veces las referencias del grupo B y A, lo cual concuerda con las prioridades de control del sistema, que pretenden revisar frecuentemente los artículos considerados como los más importantes ubicados en el grupo A.

Con base en lo presentado en esta sección, la determinación del parámetro T correspondiente a las unidades de tiempo de la reposición y el tamaño del pedido Q, donde se seleccionan los artículos que serán incluidos en el pedido a la farmacia con sus respectivas cantidades, da respuesta a las preguntas fundamentales en la gestión de inventarios: ¿cuáles artículos incluir en el pedido? ¿cuántos artículos ordenar? y ¿con qué frecuencia?

En cuanto al control del estado y el nivel de los inventarios, se propone una revisión sistemática del inventario junto con unas reglas de selección, que minimizan el número de referencias de medicamentos que son inspeccionados en cada turno, pero al mismo tiempo garantiza la revisión de todo el inventario. Estas revisiones definen claramente cuáles y con qué frecuencia revisar los medicamentos en el inventario.

8 VALIDACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS

La validación de las políticas de inventarios generadas del modelo propuesto en este documento, se realizó en dos etapas. Inicialmente se realizó una validación de los hallazgos teóricos del modelo propuesto con la coordinación del sistema. En segundo lugar, se probó el desempeño de las políticas generadas en el CEM a través de una prueba piloto. A continuación, se describen los pasos seguidos en la etapa de validación.

8.1 Validación hallazgos teóricos del modelo

En esta etapa se realizaron entrevistas semiestructuradas al coordinador del sistema, en las cuales se le presentaron los resultados de la caracterización de las entradas del sistema y el modelo propuesto para administrar medicamentos, con el fin de conocer su opinión sobre los mismos. Adicionalmente es importante resaltar que, durante el proceso de



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

elaboración de esta tesis, se contó con el acompañamiento y validación constante de CEM.

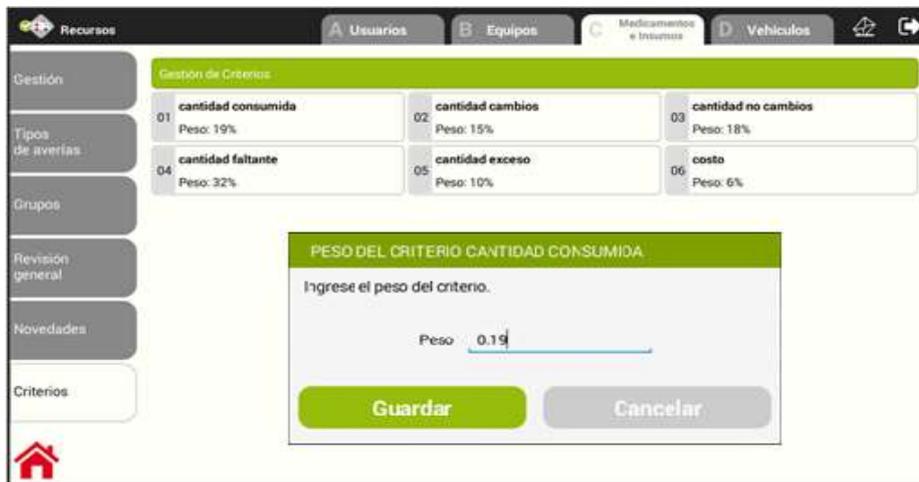
Específicamente en cuanto a la CM, se le entregó al coordinador un archivo listando con los pesos de los criterios y los grupos de clasificación A, B y C. El coordinador validó los resultados de la clasificación al considerar que los artículos en el grupo A y B son aquellos a los cuales se les debería prestar más atención, en términos de gestión y control en el inventario del CEM- Medellín.

8.2 Prueba piloto

La validación de las políticas de control de inventarios propuestas en este trabajo, fue realizada a través de una prueba piloto en CEM. Es importante recordar, que los resultados de esta tesis, sirvieron como parte del fundamento teórico en la especificación de requisitos funcionales de Appbulancia, por lo cual la prueba piloto se enfocó en probar el funcionamiento del software completo y los modelos teóricos que lo soportan, en condiciones normales de operación del CEM.

Appbulancia es un software de gestión recursos y medición del desempeño diseñado para SEM (servicios de emergencias médicas). El diseño del módulo de gestión de recursos, se basa en gran parte en los resultados de este trabajo de investigación, razón por lo cual, en este documento sólo se hará referencia a las funcionalidades y características de Appbulancia que correspondan al modelo de gestión de inventarios planteado en este documento.

Dentro de las funcionalidades de Appbulancia, se incluyen la captura de datos que permiten al software realizar la CM, para lo cual, se deben asignar manualmente los pesos de los criterios a discreción del sistema (*ver Imagen 8*). Adicionalmente, el software, calcula las reposiciones de medicamentos y la revisión del inventario acorde a las consideraciones plasmadas en este documento (*ver Imagen 9*), modificando K-medias como método de agrupación de la CM por el método de Pareto. Lo anterior debido a restricciones en la programación de software. Es importante recordar que la similitud entre las dos clasificaciones es de 81%.



Recursos A Usuarios B Equipos C Medicamentos e Insumos D Vehículos

Gestión

Tipos de averías

Grupos

Revisión general

Novedades

Criterios

Gestión de Criterios

01 cantidad consumida Peso: 19%	02 cantidad cambios Peso: 15%	03 cantidad no cambios Peso: 18%
04 cantidad faltante Peso: 32%	05 cantidad exceso Peso: 10%	06 costo Peso: 6%

PESO DEL CRITERIO CANTIDAD CONSUMIDA

Ingrese el peso del criterio.

Peso

Guardar Cancelar

Imagen 8. Ventana de ingreso de pesos de los criterios Appbulancia1



Vehículo 201 A Revisión B Estado C Insumos

Nombre	Existencia	Por vencer (Cambios)	Por vencer (Consumos)	Vencidos	Averados
01 Adrenalina 5 mg frasco 2 ml	8	0	0	0	0
02 Acido acetilsalicílico - salicico 100 mg tabletas	10	0	0	0	0
03 Adrenalina amp 1 mg 1 ml	3	0	0	0	0

Hecho

Cancelar

Appbulancia

Imagen 9. Lista de revisión Appbulancia.

Para la prueba piloto en CEM se seleccionaron 17 vehículos, de los cuales 12 vehículos fueron de consulta y 6 fueron ambulancias, y se contó con la participaron 32 operadores y el coordinador del CEM como usuarios activos en toda la duración de la prueba. Durante la prueba, dos vehículos fueron retirados debido a problemas técnicos relacionados con fallas mecánicas de los vehículos. La selección de las móviles, fue realizada por CEM con base en la disponibilidad de los mismos al momento de comenzar la prueba.

Para la realización de la prueba piloto se diseñaron cinco fases de ejecución. La primera fase consistió en el diseño de la misma. En esta fase en incluye el planteamiento de cinco indicadores, que tienen como fin de validar del desempeño de las políticas de control de inventarios del modelo de gestión de inventarios, al controlar la exactitud, disponibilidad y fechas de vencimiento del inventario. Los indicadores mencionados son presentados en la **Tabla 19**. La segunda fase, se enfocó en realizar las adecuaciones en CEM para garantizar el éxito de la misma y el correcto funcionamiento de Appbulancia. La tercera fase consistió en la capacitación del personal de CEM en el uso de la aplicación. La cuarta



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

fase consistió en la puesta en marcha de la prueba piloto. Esta fase tuvo una duración de 20 días, durante los cuales CEM administró y controló los inventarios de los 18 vehículos seleccionados, usando el modelo propuesto en este documento a través del software Appbulancia.

Para la prueba piloto, la base de datos de la aplicación inició en blanco y se asignó el grupo de clasificación A, B y C de manera aleatoria. Durante los primeros 10 días de ejecución de la cuarta fase, se recopiló información sobre todas las referencias de medicamentos para cada uno de los criterios de clasificación multicriterio previamente seleccionados. A partir del día 11, Appbulancia clasificó los medicamentos, con base en la información disponible en la base de datos sobre los criterios seleccionados y los pesos de los criterios ingresados manualmente al software.

Finalmente, la quinta fase consistió en la recopilación de información para la validación y el análisis de los resultados. La **Imagen 10** muestra las principales actividades desarrolladas en cada fase planteada para la prueba piloto.

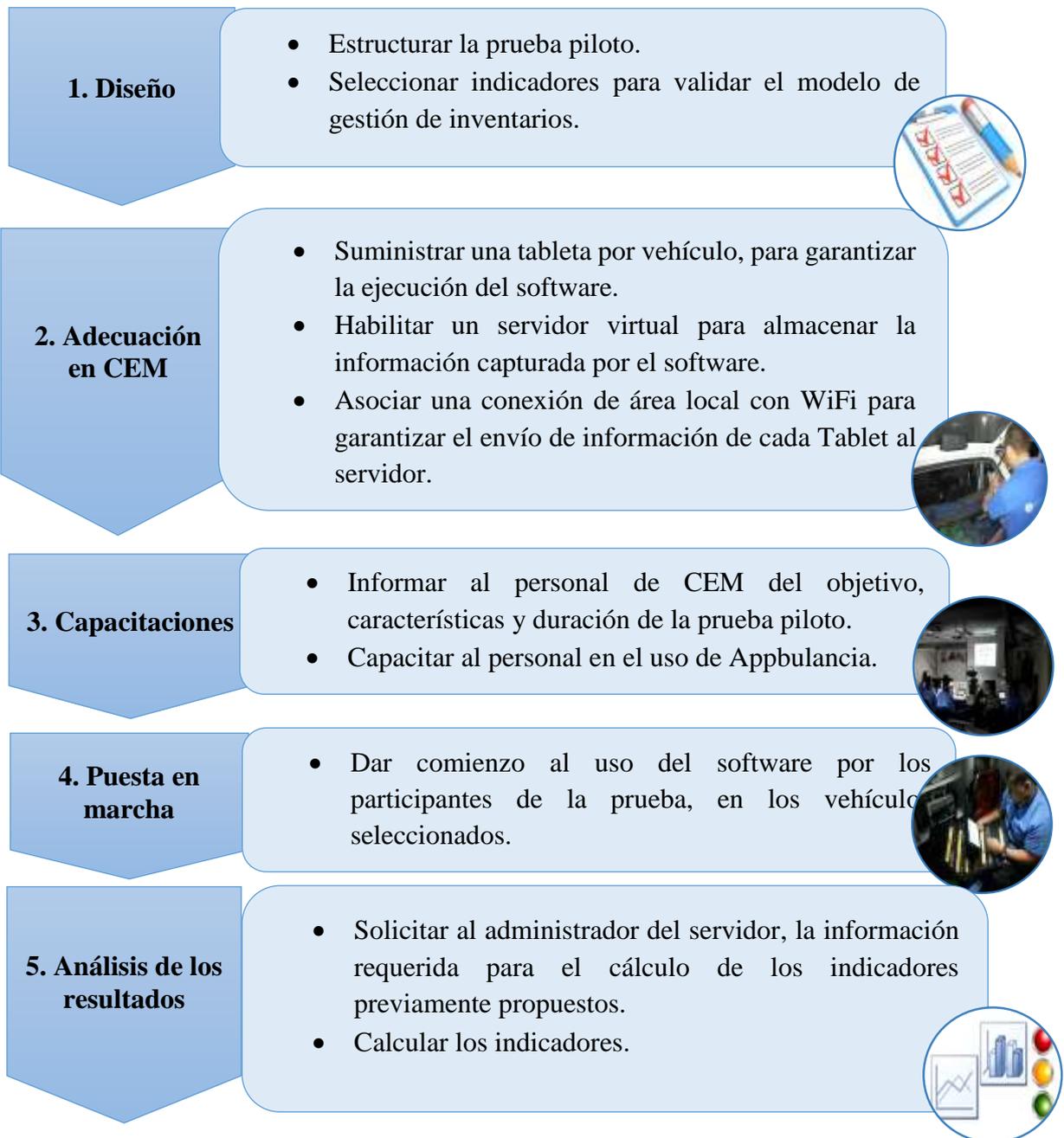


Imagen 10. Actividades principales en cada fase de prueba piloto.



Tabla 19. Indicadores de validación

Nombre	Descripción	Cálculo	Meta
Inventario efectivo (IE)	El objetivo de este indicador es medir la precisión del inventario físico en los vehículos en los cuales se presta el servicio, contra el estándar de dotación. Para medir este indicador, se cuentan las unidades físicas disponibles en las bodegas de los vehículos y se compara contra las unidades totales del estándar de dotación (UTED) de acuerdo al número de bodegas revisadas, para detectar unidades sobrantes (US) o unidades faltantes (UF) en comparación con el estándar definido.	$EI = \left[1 - \left(\frac{US + UF}{UTED} \right) \right] * 100\%$	Mantener este indicador lo más cercano a 100%. Se consideran como aceptables, resultados superiores al 90%.
Averías detectadas (AD)	El objetivo de este indicador es medir la eficacia de las revisiones sistemáticas, comparando las unidades averiadas encontradas en las revisiones sistemáticas (UAS), en comparación con las unidades averiadas encontradas en las revisiones generales (UAG).	$AD = \frac{UAS}{UAS + UAG} * 100\%$	Mantener este indicador lo más cercano a 100%. Se consideran como aceptables resultados superiores a 50%, lo cual indica, que se detectan más unidades averiadas en las revisiones sistemáticas que en las revisiones generales. En caso de indeterminación (0/0) se asume el indicador como 100% (aplica para todos los indicadores)



Excesos detectados (ED)	El objetivo de este indicador es medir la eficacia de las revisiones sistemáticas al detectar excesos de inventarios, comparando las unidades en exceso encontradas en las revisiones sistemáticas (UES), con las unidades en exceso encontradas en las revisiones generales (UEG).	$ED = \frac{UES}{UES + UEG} * 100\%$	Mantener este indicador lo más cercano a 100%. Se consideran como aceptables resultados superiores a 50%, lo cual indica que se detectan más unidades en exceso en las revisiones sistemáticas, que en las revisiones generales.
Perdidos detectados (PD)	El objetivo de este indicador es medir la eficacia de las revisiones sistemáticas al detectar perdidos en el inventario inventarios, comparando las unidades perdidas encontradas en las revisiones sistemáticas (UPS), en comparación con las unidades perdidas encontradas en las revisiones generales (UPG).	$PD = \frac{UPS}{UPS + UPG} * 100\%$	Mantener este indicador lo más cercano a 100%. Se consideran como aceptables resultados superiores a 50%, lo cual indica que se detectan más unidades perdidas en las revisiones sistemáticas, que en las revisiones generales.
Cambios detectados (CD)	El objetivo de este indicador es medir la eficacia de las revisiones sistemáticas al detectar unidades para cambio. El indicador compara las unidades para cambio encontradas en las revisiones sistemáticas (UCS), con las unidades en exceso encontradas en las revisiones generales (UCG).	$CD = \frac{UCS}{UCS + UCG} * 100\%$	Mantener este indicador lo más cercano a 100%. Se consideran como aceptables resultados superiores a 50%, lo cual indica que se detectan más unidades para cambio en las revisiones sistemáticas, que en las revisiones generales.



- **Cálculo de indicadores de validación**

La información para realizar los cálculos de los indicadores, es tomada de una revisión física general realizada al comienzo y final de la prueba y la información consignada en la base de datos de la prueba piloto. Dado que el proceso de conteo y verificación de averías del inventario de cada vehículo tiene una duración de aproximadamente 60 minutos, y para su realización es necesario detener la operación del vehículo inspeccionado, CEM determinó que dichas revisiones sólo se podían realizar para dos vehículos. Por esta razón los resultados de los indicadores de validación son realizados con la información de dos vehículos de consulta: la móvil 103 y 111, cuya selección se realizó de acuerdo a su disponibilidad al momento de la revisión general.

Es importante resaltar que el personal asistencial que usó el software durante la prueba, no lo conocían previamente, ni estaban al tanto de su funcionamiento; por lo tanto, se debe considerar que los resultados de la prueba pueden estar influenciados por una curva de aprendizaje en el manejo de la herramienta.

En la definición de funciones de los operadores y médicos en CEM, se incluye la revisión completa del inventario de medicamentos, incluyendo el conteo de unidades y la verificación fechas de vencimiento y ausencia de averiados antes del inicio de cada turno, lo cual tiene una duración de entre 45 y 60 minutos.

Durante la prueba piloto, las revisiones sistemáticas tuvieron una duración de aproximadamente 10 minutos ya que el número de referencias de medicamentos en las listas generadas por el software, es considerablemente menor en comparación con el total de medicamentos en el inventario. Durante la prueba, se detectó que algunos operadores desconocían la ubicación de los medicamentos en las bodegas de vehículos y en ocasiones se confundían con los nombres presentados en las listas (un medicamento puede ser conocido con varios nombres, por ejemplo, el Cataprezam es también conocido como clonidina y el Alizapride es también llamado pliticam). Así mismo se manifestó por parte de los operadores el desconocimiento y falta de procedimientos para gestionar medicamentos vencidos, averiados, faltantes, en exceso encontrados dentro del inventario.

La **Tabla 20** presenta el total de revisiones sistemáticas realizadas por móvil en la prueba piloto, adicionalmente relaciona la cantidad de usuarios que ingresaron a la aplicación por cada vehículo. Se debe tener en cuenta que, por rotación de personal algunos usuarios pueden hacer turnos en diferentes móviles.

Tabla 20. Revisiones sistemáticas realizadas durante la prueba piloto.

Móvil	Operadores que ingresaron a la aplicación	revisiones por móvil
101	1	4



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
 Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

102	2	24
103	2	27
104	2	32
105	6	31
106	5	21
107	2	10
108	3	9
109	5	21
111	3	20
112	5	30
302	1	8
401	3	38
402	4	16
403	3	24
Total	47	315

La **Tabla 21** presenta el número de unidades sobrantes, faltantes, averiados y cambios sobre los cuales se calculan los indicadores planteados para la validación del modelo. La información presentada, se obtuvo de revisiones generales, que tuvieron lugar durante la prueba piloto.

Tabla 21. Resultados prueba piloto

Vehículo	Descripción	Revisión sistemática (unidades)	Revisión general antes (unidades)	Revisión general después (unidades)
103	Excesos	58	37	38
	Perdidos	30	14	12
	Averiados	0	0	0
	Cambios	0	0	0
111	Excesos	18	36	22
	Perdidos	15	34	15
	Averiados	0	0	0
	Cambios	0	0	0



- **Indicador EI:**

Antes de comenzar la prueba, se realizó el cálculo del indicador EI (antes) de acuerdo a la información suministrada por CEM como se muestra a continuación:

$$EI (\text{antes}) = \left[1 - \left(\frac{121}{894} \right) \right] * 100\% = 86,47\%$$

A continuación, se presenta el cálculo del indicador EI (después) luego de haber finalizado la prueba:

$$EI (\text{después}) = \left[1 - \left(\frac{87}{894} \right) \right] * 100\% = 90,03\%$$

De acuerdo a los resultados obtenidos, se obtiene un incremento en el EI de aproximadamente 4% después de la prueba piloto, en comparación con el EI obtenido antes de comenzar la prueba. Este 4% representa alrededor de 35 unidades en las dos bodegas, lo cual en la operación puede ser crucial para la seguridad de los pacientes e incluso representa costos para el sistema en los que se están dejando de incurrir, al administrar mejor los recursos disponibles.

Adicionalmente y con base en la *tabla 21* se puede concluir que, en términos generales después de la implementación de las revisiones sistemáticas se encontraron menos perdidos en los dos vehículos analizados (2 unidades menos en la móvil 103 y 19 unidades menos en la móvil 111). En cuanto a los excesos, se encontró una unidad de más en la móvil 103 y 14 unidades de menos después de la implementación de las revisiones sistemáticas, en comparación con la revisión general realizada antes de comenzar la prueba piloto.

- **Indicador AD:**

Durante la prueba piloto no se reportaron averías de medicamentos e insumos. En la revisión general, tampoco fueron detectadas unidades averiadas; por lo tanto, el cálculo de este indicador se presenta como 100%, como se muestra a continuación:

$$AD = \frac{0}{0} * 100\% = \text{indeterminado} = 100\%$$

- **Indicador ED:**

$$ED = \frac{76}{76 + 56} * 100\% = 55\%$$

El resultado de este indicador es de 55%, lo cual cumple la meta e indica que los excesos reportados en las revisiones sistemáticas generadas por el modelo de gestión de i, son mayores a los encontrados en las revisiones generales.

- **Indicador PD:**

$$ED = \frac{45}{45 + 27} * 100\% = 62,5\%$$



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

El resultado de este indicador es de 62,5% lo cual cumple la meta e indica que el número de unidades perdidas reportadas en las revisiones sistemáticas generadas por el modelo de gestión de inventarios, son mayores a las unidades perdidas encontradas en las revisiones generales.

- **Indicador CD:**

El cálculo de este indicador no puede ser realizado debido a que, en la revisión general, no fueron revisadas las fechas de vencimiento de los medicamentos por el CEM, debido a restricciones de tiempo del servicio.

Los resultados de la validación, muestran que después de la implementación de las revisiones sistemáticas propuestas por el modelo de gestión de inventarios, se incrementó en aproximadamente 4% la exactitud del inventario. Adicionalmente, se puede observar que el número de unidades perdidas y en exceso detectadas por las revisiones sistemáticas, es mayor que las encontradas en la revisión general, lo cual indicia que las revisiones sistemáticas están siendo eficaces al detectar las mismas.

9 CONCLUSIONES

El modelo de gestión de inventarios de medicamentos presentado en este documento, está diseñado específicamente para servicios de emergencias médicas. En él, se consideran las necesidades y características de este tipo de servicios y de los medicamentos y es el punto de partida para la toma de decisiones relacionadas con la gestión y control de los inventarios de medicamentos en ambientes prehospitalarios.

El desarrollo de esta investigación, se apoyó en Coomeva Emergencias Médicas- sede Medellín como sistema de referencia, el cual proporcionó información para determinar parámetros relevantes en su desarrollo, y la validación de los resultados.

En el modelo propuesto, se incluye un Clasificación multicriterio de los medicamentos bajo la influencia de seis criterios: cantidad, cambios, vencidos, faltantes, exceso de inventario y costo. La fijación de pesos de criterios, evidenció que el criterio más importante para el sistema son los “faltantes”, los cuales hacen referencia a las unidades que se solicitan, pero no son entregados por el proveedor, y su ocurrencia en el sistema significa que el inventario meta inicia por debajo del nivel esperado. Los criterios más importantes después de “faltantes”, hacen referencia al volumen de consumos y a la perecibilidad de los medicamentos. Los criterios menos importantes, hacen referencia al exceso de inventario en comparación con el estándar de dotación y al costo del medicamento. La distribución de los pesos indica, que las preocupaciones de la administración se centran en la ausencia de faltantes y unidades pericidas, más que en las preocupaciones financieras.

El modelo de gestión de inventarios propuesto separa los conceptos de reorden y revisión del inventario, con el fin de responder a las características del tipo de servicio estudiado. La determinación de los parámetros de reorden, se realizó con base en que el tiempo de reposición es cero, el tipo de revisión es periódico, la demanda es estocástica con poca variación y que, por restricciones administrativas y normativas, el aprovisionamiento de medicamentos en este tipo de sistemas debe realizarse de manera conjunta para todo el



inventario. Así, se parte de las condiciones asumidas por el sistema de referencia para fijar los parámetros de aprovisionamiento, definiendo claramente cuáles, cuántos y con qué frecuencia se ordenan artículos en el sistema.

En cuanto a la revisión del inventario, se propusieron unas revisiones sistemáticas basadas en los resultados de la priorización resultante de una clasificación multicriterio, que definen claramente cuáles, cuántos y con qué frecuencia, se debe revisar el estado y el nivel de los inventarios en el sistema. Las inspecciones propuestas calculan un tamaño de revisión (RS) para cada turno, el cual, junto con la lista de reglas de selección, garantizan que las fechas de vencimiento, el nivel y las averías de todas las referencias en el inventario, son verificadas en periodos de tiempo determinados con base en prioridades de control generadas a partir de una clasificación multicriterio.

Específicamente para CEM, el método de revisión genera una disminución en la cantidad de referencias que se inspeccionan en cada turno por la tripulación. La reducción en el número de referencias revisadas por turno, se traduce en una disminución del tiempo destinado por los operadores a inspeccionar el inventario, lo cual acarrea beneficios en costos y en la calidad del servicio; ya que se cuenta con la posibilidad de atender más eventos durante un turno, al contar con mayor disponibilidad de tiempo.

Aunque el tiempo que se dedica a inspeccionar el inventario es menor y se revisa una menor cantidad de referencias, de acuerdo a los resultados de la validación, las revisiones sistemáticas supusieron un aumento en la exactitud del inventario del 4% luego de 20 días de implementación. En las revisiones generales se encontraron cero unidades averiadas. Los resultados mencionados, evidencian una mejora en la gestión y control de los inventarios con el modelo propuesto en este documento. El aumento en la exactitud de los inventarios, brinda ventajas en términos de costos por la reducción de artículos perdidos y la reducción de inventarios superiores a los establecidos. Adicionalmente, se impacta en la seguridad del paciente; ya que se incrementa la capacidad de respuesta del sistema, al contar con los medicamentos que se necesitan durante la atención.

En la revisión de la literatura realizada, no se evidenciaron trabajos que consideren específicamente medicamentos para el desarrollo de modelos de gestión de inventarios en SEM que incluyan una CM para priorizar los mismos y separen los conceptos de reorden y revisión. Lo anterior, sugiere que el desarrollo de este trabajo, permite contribuir al estado del arte de la administración de inventarios.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Aboueljinane, e. Sahin and Z. Jemai, "A review on simulation models applied to emergency medical service operations," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 66, no. 4, p. 734–750, 2013.
- [2] Ministerio de salud y protección social, "Guías Básicas de Atención Médica Prehospitalaria," Corporación canal universitario Universidad de Antioquia, Bogotá, 2012.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

- [3] Ministerio de Salud y Protección Social, "Seguridad en la utilización de medicamentos," [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/seguridad-en-la-utilizacion-de-medicamentos.pdf>. [Accessed 05 Abril 2016].
- [4] Metrosalud, "Consolidado general rondas de seguridad 2013," Medellín, 2013.
- [5] S. K. Goyal and B. C. Giri, "Recent trends in modeling of deteriorating inventory," *European Journal of Operational Research*, vol. 134, no. 1, pp. 1-16, 2001.
- [6] M. Bakker, J. Riezebos and R. H. Teunter, "Review of inventory systems with deterioration since 2001," *European Journal of Operational Research*, vol. 221, p. 275–284, 2012.
- [7] S. Nahmias, "Perishable inventory theory: a review," *Operations Research*, vol. 30, no. 3, p. 680–708, 1982.
- [8] G. P. Prastacos, "Blood inventory management: an overview of theory and practice," *Management Science*, vol. 30, no. 7, pp. 777-800, 1984.
- [9] F. Raafat, "Survey of literature on continuously deteriorating inventory models," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 42, no. 1, pp. 27-37, 1991.
- [10] S. Nahmias, "Perishable inventory system," *International series in operations research & management systems*, vol. 160, pp. 12 - 80, 2011.
- [11] N. Khanlarzadea, B. Y. Yeganeb, I. N. Kamalabadi and H. Farughi, "Inventory control with deteriorating items: A state-of-the-art literature review," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 5, p. 2014, 179–198.
- [12] F. Hillier, *Introduction to operations research*, New york: Tata McGraw-Hill education, 2012.
- [13] C. J. Vidal Holguín, *Fundamentos en gestión de inventarios*, Santiago de Cali: Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, 2005.
- [14] D. Sipper and R. Bulfin, *Planeación y control de la producción*, México: Mc Graw-Hill Interamericana editores, 1998.
- [15] E. A. Silver, D. F. Pyke and R. Peterson, *Inventory Management and production planning and scheduling*, New york: Wiley, 1998.
- [16] J. Dey, S. Mondal and M. Maiti, "Two storage inventory problem with dynamic decisions demand and interval valued lead-time over finite time horizon under inflation and time-value of money," *European Journal of Operational Research*, vol. 185, p. 170–194, 2008.
- [17] B. Flores, O. David and V. K. Dorai, "Management of multicriteria inventory clasificación," *Mathl. Comput. Modelling*, pp. 71-82, 1992.
- [18] D. Whybark and B. Flores, "Multiple criteria ABC analysis," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 6, pp. 38-46, 1986.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

- [19] M. Cohen and R. Ernst, "Multi-item classification and generic inventory stock control policies Management Journal," *Production and Inventory*, vol. 29, no. 3, pp. 6-8, 1988.
- [20] F. Lolli, A. Ishizaka and R. Gamberini, "New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification.," *Int. J. Production Economics*, p. 62–74, 2014.
- [21] K. Balaji and V. S. Senthil, "Multicriteria inventory ABC classification in a automobile rubber components manufacturing industry," *Procedia CIRP*, pp. 463-468, 2014.
- [22] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234-281, 1977.
- [23] A. Hadi-Vencheha and A. Mohamadghasem, "A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 4, p. 3346–3352, 2011.
- [24] O. Cakir and M. S. Canbolat, "A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology," *Experts Systems Applications*, p. 1367–1378, 2008.
- [25] R. Ramanathan, "ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization," *Computers & Operations Research*, p. 695–700, 2006.
- [26] W. L. Ng, "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis," *European Journal of Operational Research*, p. 344–353, 2007.
- [27] P. Zhou and L. Fan, "A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization," *European Journal of Operational Research*, vol. 187, p. 1488–1491, 2007.
- [28] F. Y. Partovi and M. Anandarajan, "Classifying inventory using an artificial neural network approach," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 31, no. 4, p. 389–404, 2002.
- [29] R. Uthayakumar and S. Priyan, "Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital," *Operations Research for Health Care*, vol. 2, no. 3, p. 52–64, 2013.
- [30] F. W. Harris, "How many parts to make at once, Factory,," *The Magazine of Management*, vol. 10, no. 2, p. 135–136, 1913.
- [31] L. H. Chen, L. Y. Ouyang and J. T. Teng, "On an EOQ model with ramp type demand rate and time dependent deterioration rate," *International Journal of Information and Management Sciences*, vol. 17, no. 4, pp. 52-66, 2005.
- [32] J. J. Liao, K. N. Huang and K. J. Chung, "Lot-sizing decisions for deteriorating items with two warehouses under an order-size-dependent trade credit," *International Journal of Production Economics*, vol. 137, no. 1, pp. 103-115, 2012.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

- [33] S. Zanoni and L. Zavanella, "Single-vendor single-buyer with integrated transport-inventory system: Models and heuristics in the case of perishable goods," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 102, no. 1, p. 107–123, 2007.
- [34] Y. He, S. Y. Wang and K. K. Lai, "An optimal production-inventory model for deteriorating items with multiple-market demand," *European Journal of Operational Research*, vol. 203, no. 3, p. 2010, 593–600.
- [35] P.-H. Hsua, H. M. Weeb and H.-M. Teng, "Optimal ordering decision for deteriorating items with expiration date and uncertain lead time," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 102, no. 4, p. 448–458, 2007.
- [36] M. Ferguson, V. Jayaraman and G. C. Souza , "Note: An application of the EOQ model with nonlinear holding cost to inventory management of perishables," *European Journal of Operational Research*, vol. 180, p. 485–490, 2007.
- [37] H. M. Wagner and T. M. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Management Science*, vol. 5, pp. 89-96, 1958.
- [38] L. A. Smith, "Simultaneous inventory and pricing decisions for perishable commodities with price fluctuation constraints," *Inform*, vol. 13, pp. 82-87, 1975.
- [39] Y. Friedman and Y. Hoch, "A dynamic lot size model with inventory deterioration," *INFOR*, vol. 16, p. 183–188, 1978.
- [40] D. Perry and M. J. Posner , "An (s-1,s) inventory system with fixed shelf life and constant lead times," *Operations Research*, vol. 45, no. 3, p. S65–S83, 1998.
- [41] E. Berk and Ü. Gürler, "Analysis of the (Q, r) inventory model for perishables with positive lead times and lost sales," *Operations Research* 56, vol. 56, no. 5, pp. 1238-1246, 2008.
- [42] E. Tekin , U. Gurler and E. Berk, "Age-based vs. stock level control policies for a perishable inventory system," *European J. of Operational Research*, vol. 134, p. 309–329, 2001.
- [43] Ballou, *Business Logistics Management*, NJ: Prentice-Hall,, 1992.
- [44] C. J. V. Holguín, *Fundamentos en gestión de inventarios*, Santiago de Cali: Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, 2005.
- [45] P. Chew, C. Lee and R. Liu , "Joint inventory allocation and pricing decisions for perishable products," *International Journal of Production Economics*, vol. 120, p. 139–150, 2009.
- [46] Q. Duan and T. W. Liao, "A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products," *International journal of production economics*, vol. 145, no. 2, pp. 658-671, 2013.
- [47] K. Sörensen and F. W. Glover, "Metaheuristics," *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, pp. 960-970, 2013.
- [48] A. A. Taleizadeha, F. Barzinpour and H. M. Wee, "Meta-heuristic algorithms for solving a fuzzy single-period problem," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 54, p. 1273–1285, 2011.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

- [49] A. A. Taleizadeh, S. T. Akhavan Niakic, M.-B. Aryanezhadd and N. Shafii, "A hybrid method of fuzzy simulation and genetic algorithm to optimize constrained inventory control systems with stochastic replenishments and fuzzy demand," *Information Sciences*, vol. 220, p. 425–441, 2013.
- [50] W. D. Kelton, R. P. Sadowski and A. Sadowski, *Simulation with arena*, WCB.I: McGraw-Hil, 1998, p. 631.
- [51] R. A. Broekmeulen and K. H. Van Donselaar, "A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand," *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 11, p. 3013–3018, 2009.
- [52] R. Haijema,, "A new class of stock-level dependent ordering policies for perishables with a short maximum shelf life," *International Journal of Production Economics*, vol. 143, p. 434–439, 2013.
- [53] S. R. Chakravarthy and J. K. Daniel, "A Markovian inventory system with random shelf time and back orders," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 47, pp. 315-337, 2004.
- [54] K. H. Van Donselaar and R. A. Broekmeulen, "Approximations for the relative outdateding of perishable products by combining stochastic modeling, simulation and regression modeling," *International Journal of Production Economics*, vol. 130, p. 660–669, 2012.
- [55] R. H. Ballou, *Administración de la cadena de suministro*, México: Pearson educación, 2004.
- [56] E. Berk, U. Gurler and G. Yıldırım, "On pricing of perishable assets with menu costs," *International Journal of Production Economics*, vol. 121, no. 2, p. 678–699, 2009.
- [57] C. Williams and B. E. Patuwo, "Analysis of the effect of various unit costs on the," *European Journal of Operational Research*, vol. 156, p. 140–147, 2004.
- [58] S. Mukhopadhyaya, R. N. Mukherjeea and K. S. Chaudhuri, "Joint pricing and ordering policy for a deteriorating inventory," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 47, no. 4, p. 339–349, 2004.
- [59] R. Maihmi and I. Nakhai, "Joint pricing and inventory control for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging and time and price dependent demand," *International Journal of Production Economics*, vol. 136, no. 1, pp. 116-122, 2012.
- [60] B. Niu and J. Xie, "A note on "Two-warehouse inventory model with deterioration under FIFO dispatch policy"," *European Journal of Operational Research*, vol. 115, no. 2, pp. 571-577, 2008.
- [61] M. Jiangtao, C. Guimei, F. Ting and M. Hong, "Optimal ordering policies for perishable multi-item under stock-dependent demand and two-level trade credit," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 38, p. 2522–2532, 2013.
- [62] S. G. Makridakis and S. C. Wheelwright, *Forecasting methods for management*, Wiley, 1997.



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

- [63] R. Peterson and E. Silver, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, New York: Wiley, 1979.
- [64] D. Saldarriaga Restrepo, *Gerencia de Inventarios y Planeación de Producción, Zona Logística*, 2014.
- [65] N. Subramanian and R. Ramanathan, "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management," *International Journal of Production Economics*, vol. 138, no. 2, pp. 215-241, 2012.
- [66] F. Partovi and M. Anandarajan, "Classifying inventory using an artificial neural network approach," *Computers and Industrial Engineering*, vol. XXXI, pp. 389-404, 2002.
- [67] S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM," *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 129-137, 1982.
- [68] J. A. Hartigan and M. A. Wong, "A K-means clustering algorithm," *Applied Statistics*, p. 100-108, 1979.
- [69] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, pp. 281-297, 1967.
- [70] MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, "Resolución Número 00002003 DE 2014," 28 Mayo 2014. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%2003%20de%202014.pdf. [Accessed 20 febrero 2015].
- [71] Coomeva Emergencias Médicas, "Atención de Servicios CEM," 2014.
- [72] Ministerio de salud y protección social, "Guías médicas de atención prehospitalaria," 2012. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Gu%C3%ADas%20M%C3%A9dicas%20de%20Atenci%C3%B3n%20Prehospitalaria.pdf>. [Accessed 19 Junio 2016].
- [73] D. Atkins and P. Iyogun, "A lower bound on a class of coordinated inventory/production problems," *Operations Research Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 63-67, 1987.

11 ANEXOS

Anexo A. Expertos del sistema referencia y matrices de evaluación de los criterios seleccionados.

La siguiente tabla, corresponde a la descripción de los expertos seleccionados del CEM (Coomeva Emergencia Médica) para realizar las comparaciones por pares de los criterios de clasificación, con el fin de determinar los pesos de los mismos por medio del AHP (Análisis analítico jerárquico) en la realización de la CM (clasificación multicriterio) en CEM:



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

Tabla 22. Expertos del sistema seleccionados para realizar la calificación de los criterios.

Experto	Cargo	Actividades del cargo	Años de experiencia en entornos prehospitalarios
Experto 1	Coordinador operativo	Establecer cuadros de turno de las tripulaciones. Administrar los inventarios de insumos, medicamentos y equipos. Administrar los vehículos del sistema. Administrar el personal operativo del sistema.	12
Experto 2	Médico	Médico asistencial. Realizar auditoría de historias clínicas. Elaborar o mejorar guías de atención del sistema.	4
Experto 3	Operador encargado de inventarios	Verificar fechas de vencimiento de medicamentos e insumos que lo requieran. Revisar los inventarios de medicamentos, insumos y equipos biomédicos del sistema. Apoyar el aseguramiento metrológico de equipos biomédicos.	7
Experto 4	Operador	Labores de enfermería. Conducción de vehículos.	12
Experto 5	Jefe regional	Coordinar el sistema a nivel regional.	4
Experto 6	Coordinadora financiera	Supervisar estado financiero del sistema.	25
Experto 7	Operador	Labores de enfermería. Conducción de vehículos.	13

Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia

Calle 70 No. 52 – 21. Of.: 21-404, 050010 – Medellín – Colombia – Tel.: (+574) 219 55 75



Experto 8	Operador	Labores de enfermería. Conducción de vehículos.	20
Experto 9	Médico	Médico asistencial.	3
Experto 10	Médico	Médico asistencial.	17

Cada experto, realizó una comparación y evaluación por pares de los criterios seleccionados con el fin de obtener una CM según su experiencia en el sistema referencia, según el proceso descrito en la sección 4.2.2.

Los resultados de dichas evaluaciones son presentados a continuación:

Matrices de evaluaciones:

Tabla 23. Matriz de evaluaciones experto 1

	Experto 1		Coordinador del sistema			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/3	1/3	1/7	3	3
C2	3	1	1	1/5	3	7
C3	3	1	1	1/5	3	7
C4	7	5	5	1	7	9
C5	1/3	1/3	1/3	1/7	1	3
C6	1/3	1/7	1/7	1/9	1/3	1

Tabla 24. Matriz de evaluaciones experto 2

	Experto 2		Médico en el sistema			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	5	5	1/3	3	7
C2	1/5	1	1	1/9	1/3	3
C3	1/5	1	1	1/9	1/3	5
C4	3	9	9	1	7	9
C5	1/3	3	3	1/7	1	3
C6	1/7	1/3	1/5	1/9	1/3	1

Tabla 25. Matriz de evaluaciones experto 3

	Experto 3		Operador			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	9	9	3	3	1
C2	1/9	1	1	3	5	7
C3	1/9	1	1	5	3	5
C4	1/3	1/3	1/5	1	1/3	9
C5	1/3	1/5	1/3	3	1	3
C6	1	1/7	1/5	1/9	1/3	1

Tabla 26. Matriz de evaluaciones experto 4

	Experto 4		Operador inventarios			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/3	1/3	1/5	1/3	5
C2	3	1	1	1/3	3	5
C3	3	1	1	1/3	7	5
C4	5	3	3	1	7	9
C5	3	1/3	1/7	1/7	1	7
C6	1/5	1/5	1/5	1/9	1/7	1

Tabla 27. Matriz de evaluaciones experto 5

Tabla 28. Matriz de evaluaciones experto 6



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

	Experto 5		Jefe regional del sistema			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	7	1	1	9	7
C2	1/7	1	1/7	1/5	1/3	1
C3	1	7	1	3	5	3
C4	1	5	1/3	1	1	3
C5	1/9	3	1/5	1	1	3
C6	1/7	1	1/3	1/3	1/3	1

Tabla 29. Matriz de evaluaciones
7

	Experto 7		Operador			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	7	5	5	1	5
C2	1/7	1	1/5	1/3	5	1
C3	1/5	5	1	1	1/7	1/7
C4	1/5	3	1	1	5	1/7
C5	1	1/5	7	1/5	1	1/7
C6	1/5	1	7	7	7	1

Tabla 31. Matriz de evaluaciones
experto 9

	Evaluador 9		Médico asistencial			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	3	1/7	5	1/9	5
C2	1/3	1	1/7	1	1/9	5
C3	7	7	1	1	9	5
C4	1/5	1	1	1	5	5
C5	9	9	1/9	1/5	1	5
C6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1

A continuación, se presenta la matriz unificada de evaluaciones, las sumas de sus respectivas columnas y la matriz normalizada de dichas evaluaciones:

Tabla 33. Matriz unificada.

C1	C2	C3	C4	C5	C6
----	----	----	----	----	----

	Experto 6		Coordinadora financiera			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	7	7	7	5	3
C2	1/7	1	7	5	5	5
C3	1/7	1/7	1	5	1/7	1/5
C4	1/7	1/5	1/5	1	7	1/7
C5	1/5	1/5	7	1/7	1	7
C6	1/3	1/5	5	7	1/7	1

Tabla 30. Matriz de evaluaciones experto
experto 8

	Experto 8		Operador/auxiliar de enfermería			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	9	7	7	7	9
C2	1/9	1	1/5	1/5	5	5
C3	1/7	5	1	7	7	7
C4	1/7	5	1/7	1	1/7	7
C5	1/7	1/5	1/7	7	1	5
C6	1/9	1/5	1/7	1/7	1/5	1

Tabla 32. Matriz de evaluaciones
experto 10

	Evaluador 10		Médico asistencial			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	9	5	7	9	5
C2	1/9	1	7	9	9	9
C3	1/5	1/7	1	3	5	9
C4	1/7	1/9	1/3	1	7	9
C5	1/9	1/9	1/5	1/7	1	1/3
C6	1/5	1/9	1/9	1/9	3	1



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

C1	1,00	3,65	1,97	1,73	2,21	4,36
C2	0,27	1,00	0,72	0,65	1,90	3,91
C3	0,51	1,38	1,00	1,28	1,92	2,74
C4	0,58	1,54	0,78	1,00	2,69	3,24
C5	0,45	0,53	0,52	0,37	1,00	2,33
C6	0,23	0,26	0,37	0,31	0,43	1,00

Tabla 34. Suma de columnas

Suma de columnas					
C1	C2	C3	C4	C5	C6
3,04	8,35	5,36	5,34	10,16	17,57

Tabla 35. Matriz unificada-normalizada

Matriz unificada-normalizada/Vector de prioridad							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Vector de prioridad
C1	0,33	0,44	0,37	0,32	0,22	0,25	0,32
C2	0,09	0,12	0,14	0,12	0,19	0,22	0,15
C3	0,17	0,17	0,19	0,24	0,19	0,16	0,19
C4	0,19	0,18	0,15	0,19	0,27	0,18	0,18
C5	0,15	0,06	0,1	0,07	0,1	0,13	0,10
C6	0,08	0,03	0,07	0,06	0,04	0,06	0,06

Anexo B. Datos y resultados de la clasificación multicriterio propuesta (CM-K-Medias, clasificación multicriterio con análisis de Pareto (CM 65%-25%-10%) y clasificación ABC tradicional (ABC-T).

Tabla 36. Clasificación de artículos.

Artículo	Criterios	Puntaje	Clasificación
----------	-----------	---------	---------------



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
 Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

	Cantidad 19%	Costo 6%	Cambios 15%	Vencidos 18%		AHP+ K- Media	AHP + P	ABC-T
11	0,00	0,00	1,00	1,00	0,33	A	A	C
17	0,00	0,01	0,16	1,00	0,21	A	A	C
40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,19	A	A	B
45	0,00	0,02	0,02	1,00	0,18	A	A	C
44	0,00	0,21	0,07	0,80	0,17	A	A	C
18	0,87	0,01	0,00	0,00	0,17	A	A	B
28	0,85	0,01	0,02	0,00	0,17	A	A	B
37	0,00	0,02	0,11	0,80	0,16	A	A	C
21	0,69	0,00	0,00	0,00	0,13	B	A	B
6	0,02	0,00	0,84	0,00	0,13	B	A	C
35	0,63	0,00	0,00	0,00	0,12	B	A	B
29	0,01	0,03	0,75	0,00	0,12	B	A	C
9	0,52	0,06	0,00	0,00	0,10	B	B	A
57	0,00	0,00	0,66	0,00	0,10	B	B	C
58	0,51	0,00	0,00	0,00	0,10	B	B	C
53	0,49	0,00	0,00	0,00	0,09	B	B	C
19	0,40	0,01	0,00	0,00	0,08	B	B	B
46	0,00	0,02	0,02	0,40	0,08	B	B	C
15	0,32	0,04	0,00	0,00	0,06	B	B	A
5	0,00	1,00	0,00	0,00	0,06	B	B	C
26	0,22	0,00	0,00	0,00	0,04	C	B	C

Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia

Calle 70 No. 52 – 21. Of.: 21-404, 050010 – Medellín – Colombia – Tel.: (+574) 219 55 75



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

47	0,21	0,02	0,00	0,00	0,04	C	B	B
56	0,00	0,02	0,00	0,20	0,04	C	B	C
27	0,19	0,01	0,00	0,00	0,04	C	B	B
55	0,00	0,00	0,23	0,00	0,04	C	B	C
34	0,07	0,00	0,10	0,00	0,03	C	B	C
41	0,15	0,01	0,00	0,00	0,03	C	B	B
33	0,11	0,11	0,00	0,00	0,03	C	C	A
32	0,14	0,01	0,00	0,00	0,03	C	C	B
38	0,05	0,29	0,00	0,00	0,03	C	C	A
24	0,02	0,01	0,15	0,00	0,03	C	C	C
48	0,01	0,00	0,15	0,00	0,02	C	C	C
10	0,00	0,01	0,15	0,00	0,02	C	C	C
2	0,04	0,00	0,08	0,00	0,02	C	C	C
14	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	C	C	C
42	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	C	C	C
7	0,06	0,02	0,00	0,00	0,01	C	C	C
52	0,00	0,03	0,07	0,00	0,01	C	C	C
50	0,00	0,13	0,02	0,00	0,01	C	C	C
31	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	C	C	C
30	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	C	C	C
22	0,03	0,01	0,02	0,00	0,01	C	C	C
8	0,01	0,12	0,00	0,00	0,01	C	C	C
3	0,01	0,09	0,00	0,00	0,01	C	C	B
4	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	C	C	C

Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia

Calle 70 No. 52 – 21. Of.: 21-404, 050010 – Medellín – Colombia – Tel.: (+574) 219 55 75



Grupo de Investigación en Innovación y Gestión de Cadenas de Abastecimiento - INCAS
Departamento de Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia

49	0,03	0,03	0,00	0,00	0,01	C	C	C
54	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	C	C	C
25	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	C	C	C
43	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	C	C	C
51	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	C	C	C
12	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	C	C	C
39	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	C	C	C
36	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	C	C	C
1	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	C	C	C
23	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	C	C	C
20	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	C	C	C
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	C	C	C
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	C	C	C
