

# EVALUACIÓN DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIO DE SUMINISTROS MÉDICOS DE MAYOR ROTACIÓN EN CENTROS DE SALUD DE TERCER NIVEL UBICADOS EN ZONAS DE ACCESO DIFÍCIL

DANIEL ANDRÉS GUTIÉRREZ YEPES

<https://orcid.org/0009-0008-6556-2043>

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes,  
Bogotá, Colombia

LUIS TARAZONA-TORRES\*

<https://orcid.org/0000-0003-0567-6926>

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes,  
Bogotá, Colombia

Recibido: 20 de mayo del 2024 / Aceptado: 8 de julio del 2024

Publicado: 12 de diciembre del 2024

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7221>

**RESUMEN.** Este estudio tuvo como objetivo evaluar una política de inventario para suministros médicos de alta rotación en centros de salud de tercer nivel ubicados en zonas de difícil acceso. La investigación fue de tipo aplicado, con un diseño no experimental, alcance descriptivo y enfoque cuantitativo. Se seleccionó como caso de estudio una clínica situada en el municipio de Leticia, una región de Colombia caracterizada por su difícil acceso. Se evaluaron escenarios estocásticos en comparación con el contexto actual de la clínica, aplicando el método estocástico  $(S, T)$ , debido a que cumplía con las características requeridas para el centro de salud en cuestión. Los resultados demostraron que este método optimiza significativamente los costos, principalmente debido a la variación de los parámetros relacionados con la política, como la cantidad económica de pedido, la frecuencia de pedido, el inventario de seguridad y los niveles de satisfacción del servicio proporcionado.

**PALABRAS CLAVE:** control de inventarios / suministros médicos / centros de salud / logística empresarial / demanda estocástica

---

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

\* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: [da.gutierrez@uniandes.edu.co](mailto:da.gutierrez@uniandes.edu.co); [le.tarazona@uniandes.edu.co](mailto:le.tarazona@uniandes.edu.co)

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

## EVALUATION OF INVENTORY POLICIES FOR HIGH-TURNOVER MEDICAL SUPPLIES IN TERTIARY HEALTHCARE CENTERS IN REMOTE AREAS

**ABSTRACT.** This study aimed to evaluate an inventory policy for high-turnover medical supplies in tertiary healthcare centers located in areas with difficult access. The research was applied in nature, featuring a non-experimental design, descriptive scope, and quantitative approach. A clinic in the municipality of Leticia, a region in Colombia known for its challenging access, was selected as the case study. Stochastic scenarios were assessed in comparison with the clinic's current context, utilizing the stochastic (S, T) method as it met the necessary characteristics for the healthcare center. The results concluded that this method significantly optimizes costs, primarily due to variations in policy parameters such as economic order quantity, order frequency, safety stock, and service satisfaction levels.

**KEYWORDS:** inventory control / medical supplies / health centers / business logistics / stochastic demand

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cuando se habla de asistencia médica, garantizar servicios de calidad y contar con la mayor disponibilidad de recursos posible es indispensable para cualquier entidad prestadora de servicios sanitarios. Por esta razón, la productividad, la optimización de recursos y la reducción de faltantes tienen un papel fundamental en el control de gestión de inventario de suministros médicos. En los últimos años, este tema ha sido abordado por grandes organizaciones internacionales como la Organización Panamericana de la Salud, que ha propuesto una *Guía práctica para la planificación de la gestión del suministro de insumos estratégicos* (2006). En ella, considera factores como análisis de costos, tiempos de entrega, análisis del déficit de demanda, información estadística sobre utilización de suministros e identificación de patrones de consumo. Esta publicación pretende ser una referencia internacional para instituciones de atención médica alrededor del mundo.

Según Caicedo et al. (2022), uno de los principales obstáculos en la logística de abastecimiento es el proceso de entrega, pues en muchos casos no se tiene en cuenta zonas de difícil acceso. Esto genera complicaciones en los tiempos de entrega de los productos, daños y/o pérdidas de estos, lo que provoca malestar en los usuarios y repercute negativamente en las empresas, porque se ven desabastecidas para cubrir la demanda de los clientes.

Los centros de salud no son ajenos a este problema. Al ser uno de los servicios que por derecho se debe cubrir en todas partes del mundo, tienen que estar lo suficientemente abastecidos para satisfacer la demanda de los usuarios según corresponda (Hernández et al., 2022). En Colombia, la situación no es diferente: del total de departamentos del país, nueve presentan zonas de difícil acceso (Decreto 521, 2010, artículo 8), por lo que los centros de salud de estos lugares enfrentan el reto de obtener los suministros médicos requeridos a tiempo para abordar múltiples procedimientos, consultas y complejas operaciones, las cuales dependen completamente de que los suministros estén disponibles (Ruíz et al., 2024).

Estos centros de salud ubicados en zonas de acceso difícil no cuentan con políticas de inventarios robustas. En consecuencia, tienen problemas en cuanto a desinformación de déficit de *stock* de suministros y la frecuencia adecuada para hacer una orden de pedido de estos, lo que genera gastos innecesarios y tiempos de demora altos. Al tratarse de una organización que presta servicios de salud, es de vital importancia obtener estos suministros médicos a tiempo, por lo que la implementación de políticas de inventarios cuyo objetivo sea integrar pronósticos precisos, considerando los retos geográficos y económicos a los que se pueden enfrentar dichas instituciones, es imperativo para el éxito de la red de salud.

De acuerdo con la Resolución 1442 (2013), un centro de salud de tercer nivel es aquel que se encarga de realizar prestaciones médico-quirúrgicas de alta complejidad con disponibilidad de subespecialidades y uso de equipos que permiten ejecutar procedimientos de alto riesgo; se caracterizan por su dependencia en cuanto a los suministros médicos relacionados con estas actividades. Para conseguir estos suministros, las clínicas deben tener alianzas estratégicas con proveedores dentro y fuera del país con el fin de cumplir sus requerimientos, además de contar con políticas de inventario debidamente estructuradas (Snowdon et al., 2021).

El centro de salud objeto de estudio es una clínica de tercer nivel de complejidad ubicada en el municipio de Leticia, en el departamento de Amazonas, una zona de acceso difícil de Colombia. En esta clínica, la administración de inventarios se hace mediante hojas de cálculo donde se registran todos los movimientos del inventario. Este método no ayuda a que la administración de la clínica pueda tomar decisiones más acertadas sobre la cantidad de pedido que debería realizar a fin de minimizar costos, definir cuándo debería realizar el pedido, o si debería considerar mantener suministros de reserva (*stock* de seguridad) ante una demora en la entrega de los suministros por estar en zona de acceso difícil, entre otros.

En este contexto, la aplicación de políticas de gestión de inventario estocásticas, como los modelos de revisión continua  $Q, R$ , y el modelo de revisión periódica  $S, T$ , se presentan como posibles soluciones factibles. Estos modelos de inventarios buscan generar pronósticos optimizados para datos con demanda cierta o incierta. De esta forma, se busca llegar a un inventario de seguridad apto para cubrir los cambios inesperados en la demanda de la clínica, con el fin de minimizar los costos totales involucrados en la política de inventario. Por otro lado, se encontrará una cantidad económica de pedido, la frecuencia con la que esta se pedirá durante el año para disminuir los costos de requerimiento, de mantener el inventario, de la compra de suministros médicos y por faltantes (Nahmias, 2007).

Teniendo en cuenta la problemática, es importante que las organizaciones en el ámbito de la salud tengan como prioridad implementar políticas de gestión de inventarios estructuradas con el fin de satisfacer la demanda de la población, al igual que minimizar sus costos. Reducir estos costos les permitirá maximizar su presupuesto operacional, así como poder cubrir más demanda.

Partiendo de las necesidades específicas de la clínica, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo evaluar una política de inventario de los suministros médicos con mayor rotación en centros de salud de tercer nivel ubicados en zonas de acceso difícil? Para responder a esta pregunta, se plantea el siguiente objetivo general para la investigación: evaluar una política de inventario del suministro médico con mayor rotación en centros de salud de tercer nivel ubicados en zonas de acceso

difícil. Partiendo de este objetivo y considerando la clínica caso de estudio, surgieron los siguientes objetivos específicos de la investigación: (1) realizar un diagnóstico sobre el manejo actual de los inventarios de los suministros médicos con mayor rotación; (2) determinar el comportamiento de la demanda de cada suministro médico, a fin de identificar el de mayor rotación de inventario; (3) efectuar un análisis de costos, nivel de inventario deseado, inventario de seguridad y valor esperado de faltantes de la política de inventarios evaluada para el suministro médico de mayor rotación.

Se realizó una revisión de literatura para un mejor entendimiento de cómo se abordó el problema de estudio en los últimos años. La Tabla 1 muestra el resumen de esta revisión de literatura correspondiente a políticas de inventarios, organizada por autor y categorizada en función de varios aspectos clave: el tipo de demanda, estocástica y determinística; y parámetros como la cantidad económica de pedido ( $Q$ ), el tiempo de ciclo de pedido ( $T$ ), la cantidad de faltantes ( $n(S)$ ), la probabilidad de no faltantes ( $\alpha$ ), la probabilidad de cubrir la demanda con las existencias ( $\beta$ ), el nivel de inventario máximo ( $S$ ) y el *stock* de seguridad ( $SS$ ), además de si se consideró una evaluación de costos.

En la lista de investigaciones mostradas, considerando el tipo de demanda, se visualiza que han sido más desarrolladas las políticas de inventario para demandas estocásticas. Este es el caso del estudio realizado por Srivastava et al. (2023), que planteó un conjunto de políticas de inventarios de importancia en diferentes contextos empresariales con demanda estocástica; al igual que Triana (2022), Chen et al. (2022) y Rehman et al. (2023), que toman como referencia los trabajos sobre gestión de inventarios en sectores específicos como el hospitalario y el textil. Estos estudios tratan políticas de gestión de inventarios y hacen un análisis detallado de los costos de las empresas, buscando optimizar las cantidades y el tiempo de pedido. En comparación, el presente artículo también analiza variables como el inventario de seguridad promedio, el número de faltantes, la probabilidad de no tener faltantes y la probabilidad de cubrir la demanda con las existencias. Se toman como base los ejemplos correspondientes a los estudios de Assiddiqi et al. (2022) y Baek (2024) sobre políticas de demanda estocástica aplicadas a cadenas de suministro con referencias precederas, en donde se busca la reducción del número de faltantes.

Por otro lado, Aguilar (2023) aplica una metodología  $S, T$  para demanda estocástica, y trata el nivel de inventario y el inventario de seguridad, al igual que la cantidad óptima de pedido, con el fin de minimizar costos. Además, discute cómo la mejora de decisiones clave en el ámbito organizacional es vital para satisfacer las necesidades de demanda de los clientes; sin embargo, su análisis se limita a determinar los parámetros de  $Q$  y  $T$ , mientras que la presente investigación está considerando todos los parámetros mencionados en la Tabla 1. Teniendo en cuenta las estructuras matemáticas tomadas de Nahmias (2007), se aplica la metodología relacionada con los modelos estocásticos y

se concluye cuáles son los posibles mejores métodos de gestión de inventario, como el modelo  $S, T$  y el modelo  $Q, R$ . Por su parte, Chang et al. (2024) realizaron una viabilidad de los métodos estocásticos para abordar situaciones de demanda variable y transitoria en el tiempo, lo que se relaciona con los fines de la presente investigación. Blancas-Rivera et al. (2023) ajustan una política de gestión de inventarios al modelo  $s, S$ , con el objetivo de minimizar el costo total descontado por medio de la optimización de estrategias de pedido. Khakbaz et al. (2024) y Ma et al. (2024) aplican la política EOQ en una empresa minorista para minimizar los costos totales relacionados con el inventario y la devolución y vencimiento de productos.

Hosseinfard et al. (2021), Mallidis et al. (2022) y Saithong y Luong (2022) propusieron modelos de gestión de inventarios que tienen como objetivo minimizar costos y generar un mayor volumen de ventas para las empresas a través de sistemas de revisión de inventario periódicos. Esto suma a la presente investigación, ya que, por información de la clínica caso de estudio, se entiende que tiene una demanda incierta, por lo que en general desarrolla una revisión continua de su inventario; sin embargo, podría optarse por modelos de revisión periódica que son más efectivos si se manejan volúmenes significativos de suministros.

Finalmente, Kilic y Tarim (2024), Vidal y Guerrero (2024), San-José et al. (2023) y Pham et al. (2022) tratan políticas de inventario con escenarios de demanda determinística con el fin de minimizar los costos relacionados con el inventario. Encuentran niveles de cantidad de pedido óptimos y tiempos de entrega viables para las empresas; sin embargo, en la vida real las demandas tienen un comportamiento más bien incierto, por lo que debería optarse por modelos estocásticos. También se consideró el análisis de Zheng et al. (2023) y O'Neill y Sanni (2018), quienes estudian los riesgos ocasionados por la incertidumbre de tiempos de llegada de inventarios en cadenas de suministro con demanda determinística y afectaciones geográficas de difícil acceso, en las que se busca encontrar el balance entre la cantidad de pedido y los costos que implica cubrir estas brechas relacionadas con la incertidumbre.

Habiendo realizado la revisión de literatura, se determina que la brecha de conocimiento que esta investigación pretende cubrir se centra en la falta de estudios desarrollados en centros de salud de tercer nivel, particularmente en la evaluación de su efectividad para optimizar la gestión de suministros médicos en contextos geográficamente desafiantes. La mayoría de la literatura existente se enfoca en clínicas urbanas con modelos de gestión de inventarios bien establecidos, o enfocadas en otro tipo de actividad económica, pero hay una notable carencia de investigaciones que aborden las dificultades específicas y soluciones prácticas para centros de salud ubicados en este tipo de zonas. Esta investigación contribuirá a llenar este vacío proporcionando un marco práctico y adaptado para la gestión de inventarios en estas instituciones a fin de

mejorar la disponibilidad de suministros médicos críticos y reducir costos operativos sustancialmente.

**Tabla 1**

*Revisión de literatura correspondiente a política de inventarios*

Autor	Demanda		Parámetros						Evaluación de costos	
	Estocástica	Determinística	Q	T	n(S)	$\alpha$	$\beta$	S		SS
Aguilar (2023)	x		x	x						x
Assiddiqi et al. (2022)	x		x	x	x			x	x	x
Baek (2024)	x		x							x
Blancas-Rivera et al. (2023)	x		x	x				x	x	x
Chang et al. (2024)	x		x							x
Chen et al. (2022)	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Hosseinfard et al. (2021)		x	x							x
Khakbaz et al. (2024)	x		x	x					x	x
Kilic y Tarim (2024)	x	x	x	x						x
Ma et al. (2024)	x		x	x						
Mallidis et al. (2022)	x			x						x
O'Neill y Sanni (2018)	x		x	x	x	x	x		x	x
González (2020)	x		x	x	x				x	x
Pham et al. (2022)		x	x	x						
Rehman et al. (2023)	x		x	x					x	x
Saithong y Luong (2022)	x		x	x						x
San-José et al. (2023)		x	x							x
Srivastava et al. (2023)	x		x	x					x	x
Vidal y Guerrero (2024)		x	x	x						x
Yan et al. (2024)	x			x						x
Zheng et al. (2023)	x		x	x					x	x

## METODOLOGÍA

La investigación utilizó un enfoque experimental, descriptivo y cuantitativo. Se centró en una clínica que trabaja con más de cien suministros médicos con diferentes referencias; y presenta problemas como la deficiencia en el control de inventario por la estocasticidad de la demanda; asimismo, afronta desafíos en cuanto a los altos costos relacionados con el control del inventario de varios de sus suministros médicos. Por otro lado, cuenta con desafíos geográficos por estar dentro de zonas de acceso difícil, lo que causa que, en ciertos pedidos, los tiempos de entrega sean variables, por lo que le no le resulta fácil a la clínica hacer pronósticos certeros que puedan satisfacer la demanda de la población de una forma eficiente.

Se llevó a cabo una metodología para minimizar el valor de faltantes de la clínica, optimizando la cobertura operacional, con el objetivo de reducir los costos de control de inventario de esta. Los datos de la investigación fueron suministrados por la clínica. La metodología de esta investigación siguió un procedimiento que considera cada objetivo específico. Para el primer objetivo específico, se realizó lo siguiente:

- En primer lugar, para seleccionar los suministros médicos más relevantes para el análisis, se elaboró una gráfica de Pareto de los principales suministros con mayor rotación de la clínica.
- Se desarrollaron gráficas de la rotación de inventario respecto al periodo de rotación para cada suministro seleccionando.
- Se analizó el comportamiento del inventario para medir sus niveles inferiores y superiores, la cantidad de faltantes, el inventario de seguridad y los periodos de ingreso de suministros.

El segundo objetivo específico se trabajó de la siguiente forma:

- Se realizaron gráficas de la demanda mensual en un periodo de 12 meses para cada suministro seleccionado.
- Se determinó el comportamiento de la demanda de cada suministro médico, y se escogió el más significativo para realizar el análisis.

Para el tercer objetivo específico, se consideró el siguiente procedimiento:

- Sobre la base de los objetivos específicos previos y la revisión de literatura, se decidió aplicar la política de inventario  $(S, T)$ . Para realizar los cálculos relacionados con esta política, se asume que los datos siguen una distribución normal con media  $(\mu)$  y desviación estándar  $(\sigma)$  definida para cada uno. Se calcularon todos los parámetros necesarios para aplicar las fórmulas 7 y 4. La desviación estándar también se encuentra usando los datos mensuales de la demanda. Los parámetros de costos relacionados con la tasa de mantener inventario  $(i)$ , el costo

unitario de suministros ( $c$ ) y el costo de realizar un pedido ( $K$ ) corresponden a valores estimados proporcionados por la clínica. El valor correspondiente a los demás parámetros requeridos para el procedimiento se encontró aplicando las fórmulas descritas en la Tabla 2. Al encontrar cada parámetro, se debe estandarizar a una sola medida de tiempo; en este caso, se escogió trabajar los datos de forma anual.

- Se asumió que los datos presentaban una distribución normal, con media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) definida para cada uno. Esto se realizó por conveniencia.
- Se aplicó la política de inventarios seleccionada, considerando determinar una cantidad económica de pedido ( $Q$ ) definido, teniendo en cuenta una probabilidad del nivel de satisfacción de la demanda ( $\beta$ ) mínimo del 88 %. Se encontraron los valores de nivel de inventario deseado ( $S$ ),  $SS_t$ ,  $\beta$  y  $T$  aplicando las fórmulas respectivas del diagrama de fórmulas. Se encontró el valor de  $Q$  que satisficiera la condición de  $\beta$  y que minimizara los costos. Este valor se halló llevando a cabo una búsqueda de forma matemática cambiando los parámetros relacionados con  $Q$ .
- Una vez encontrada esta cifra, se deben realizar pruebas usando valores distintos de la probabilidad de no tener faltantes ( $\alpha$ ) manteniendo las magnitudes de  $Q$  y  $T$  constantes. El valor de  $T$  usado en este paso corresponde a un dato proporcionado por la clínica; de esta forma, se mide el cambio de  $\sigma$  frente a los costos para seleccionar el valor que los minimice, manteniendo la condición de tener una probabilidad de  $\beta$  de por lo menos el 88 %.
- Al tener los valores de  $Q$  y  $\alpha$ , se debe analizar la variación de los costos al cambiar el valor de  $T$ . Para ver estas oscilaciones, se debe repetir el mismo proceso, esta vez cambiando la constante  $T$  por una variable; siguiendo este patrón, se encontró el valor de  $T$  que minimiza los costos. En este caso, se realizó la comparación de costos de forma disgregada para ver el comportamiento de cada costo en específico.
- Se llevan a cabo las gráficas de costos totales con relación a  $\alpha$  y  $\beta$ , costos disgregados referentes a  $T$ ,  $SS_t$  con respecto a  $\alpha$  y el valor esperado de faltantes en relación con los cambios de  $T$ .
- Con esta aplicación, se determina y analiza el nivel superior de inventario,  $SS_t$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $Q$  y  $\alpha$  finales.
- Se realizó un análisis de costos para ambas aplicaciones considerando los siguientes datos:  $c_{total}$ ,  $k_{total}$ ,  $h_{total}$  y  $\rho_{total}$ . De esta forma, se lleva a cabo una comparación entre los costos totales obtenidos en el análisis de forma teórica, habiendo aplicado el método estocástico  $S$ ,  $T$ , y los costos reales correspondientes de la situación actual suministrados por la clínica.

**Tabla 2**

*Fórmulas usadas en el análisis*

Número	Fórmula
1	$K_{total} = \frac{K}{T}$
2	$c_{total} = c\lambda$
3	$h_{total} = h\left(\frac{Q}{W} + S - \lambda(T + \tau)\right)$
4	$C_{total} = K_{total} + c_{total} + h_{total} + \rho_{total}$
5	$\rho_{total} = p * \left(\frac{n(s)}{T}\right)$
6	$SS_t = Z\sigma_{T+\tau}$
7	$n(S) = \sigma_{(T+\tau)}L(Z)$
8	$\beta = 1 - \left(\frac{n(S)}{\lambda T}\right)$
9	$S = \mu_{(T+\tau)} + \sigma_{(T+\tau)}Z$
10	$Q = \lambda T$
11	$h = ic$
12	$\rho = (1,5c) - c$

*Nota.* Adaptado de "Determinación del costo del inventario con el método híbrido", por J. Izar, C. Ynzunza y R. Sarmiento, 2012, *Conciencia Tecnológica*, 44, pp. 30-35; y de *Análisis de la producción y las operaciones*, por S. Nahmias, 2007, McGraw Hill.

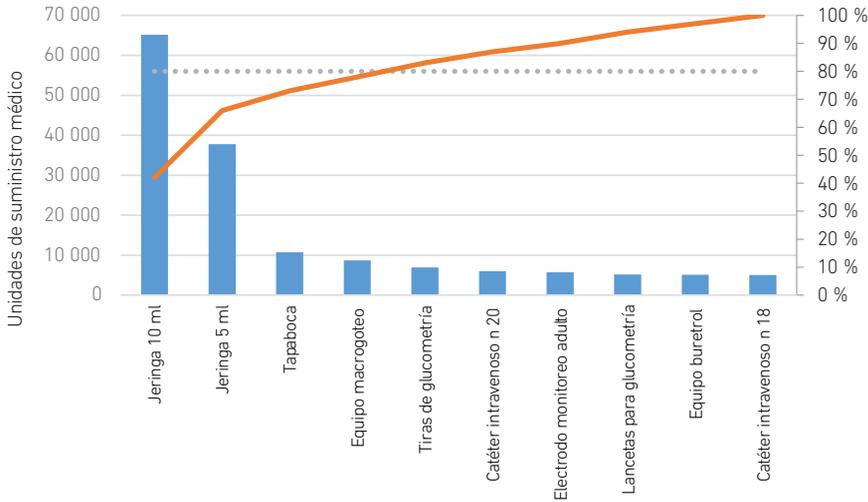
**RESULTADOS**

**Diagnóstico sobre el manejo actual de los inventarios de los suministros médicos**

Se llevó a cabo un diagrama de Pareto basado en los suministros médicos más usados por la clínica. La Figura 1 muestra los resultados de la representación gráfica.

**Figura 1**

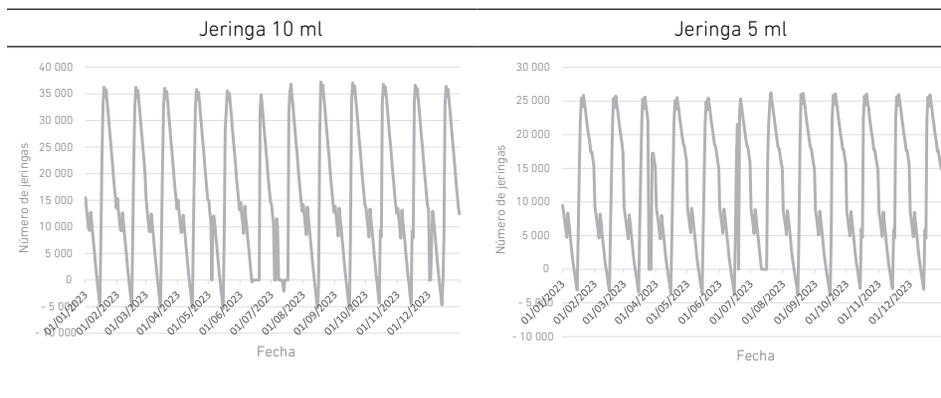
Diagrama de Pareto de los suministros médicos con mayor rotación en la clínica



Al analizar la Figura 1, se puede concluir que los suministros médicos con mayor rotación, y los más relevantes para el estudio, son las referencias correspondientes a las jeringas de 10 y 5 ml. Esto se debe a que, en comparación con los demás suministros, estos representan el 80 % de la rotación total de inventarios para la clínica. Una vez que se definieron los suministros médicos que serán objeto del análisis, se procedió a desarrollar las gráficas de la rotación mensual por un periodo de 12 meses para ambos suministros definidos. Se tomó como año de referencia el 2023. Esta representación se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2**

Gráficas de rotación de inventario mensual por 12 meses de ambas referencias de jeringas



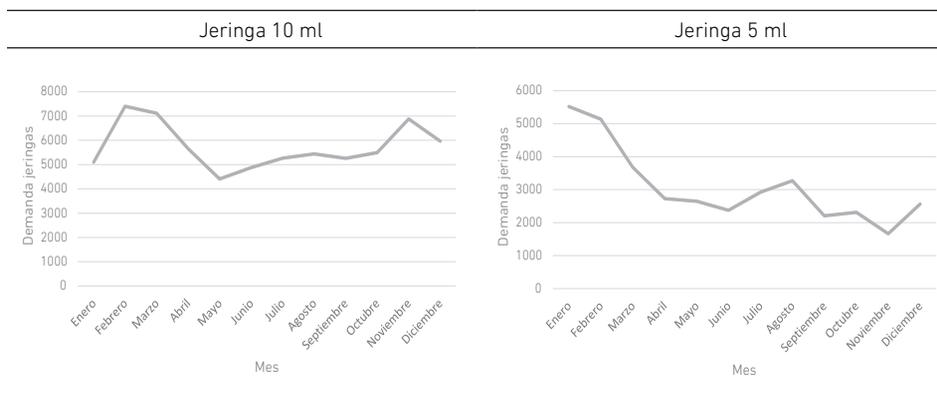
Al llevar a cabo un análisis de las gráficas de rotación de inventario, se visualiza que el inventario es negativo en la mayoría de los periodos; esto significa que la clínica tiene un alto porcentaje de faltantes para estas dos referencias de suministros médicos en varios meses del año. Los valores negativos repetitivos en las gráficas de rotación de inventarios dan a entender que la clínica no cuenta con niveles de seguridad en cuanto a existencias disponibles de suministros, suficientes como para tener una reserva estable, con capacidad de suplir la demanda en caso de contar con imprevistos. Por último, se evidencia que el periodo de ingreso de los suministros se ejecuta cada dos meses.

### Determinación el comportamiento de la demanda de cada suministro médico

Se realizaron gráficas de la demanda mensual por un periodo de 12 meses para cada suministro médico, como se puede ver en la Figura 3. Al analizar el comportamiento de las gráficas de demanda, se puede concluir que el requerimiento mensual de la jeringa de 10 ml oscila entre las 4500 hasta las 7400 unidades, en contraste con la demanda mensual de la jeringa de 5 ml, que oscila entre las 1600 hasta las 5600 unidades. De forma gráfica, se puede apreciar claramente un comportamiento con tendencia decreciente en la jeringa de 5 ml y una dinámica estacionaria en la jeringa de 10 ml.

**Figura 3**

*Gráficas de demanda mensual por 12 meses de ambas referencias de jeringas*



Al desarrollar el análisis de las gráficas de la rotación mensual del inventario de ambas referencias por un periodo de un año, se pueden ver amplias similitudes entre el comportamiento gráfico de los suministros versus la tendencia apreciada en la metodología estocástica de control de inventarios ( $S, T$ ). Esto se debe a que el inventario tiende a subir a un nivel predeterminado cada cierto lapso de tiempo específico.

Por otro lado, teniendo en cuenta el comportamiento de las gráficas de la rotación mensual del inventario (Figura 2) y la tendencia estocástica mostrada por los datos

de la demanda (Figura 3), se decidió llevar a cabo el escrutinio del suministro médico correspondiente siguiendo la metodología de control de inventarios ( $S, T$ ).

Por último, se optó por desarrollar el análisis de la referencia correspondiente a la jeringa de 10 ml de forma exclusiva, teniendo en cuenta su participación dentro de la curva de Pareto, al igual que la similitud en el comportamiento del inventario de ambas referencias. Ambos suministros presentan un comportamiento estocástico, con tendencias de rotación de inventario similares al presentado de forma gráfica en la metodología ( $S, T$ ).

### **Análisis detallado de los costos de la política de inventarios evaluada para los suministros médicos de mayor rotación de la clínica**

En la Tabla 3, se presentan los valores iniciales de los parámetros requeridos determinados con la formulación mostrada.

**Tabla 3**

*Parámetros requeridos para la aplicación del método  $S, T$*

	Valor	Unidades
$\mu$	5738,83	Jeringas
$\sigma$	932,4	Jeringas
$i$	0,02	
$c$	397	COP
$h$	7,94	COP
$K$	13 041 450	COP
$p$	238,2	COP

Los parámetros con los que se inicializó el método son suministrados por la clínica; asimismo, se llevó a cabo el procedimiento matemático correspondiente a la búsqueda de  $Q$ . La Tabla 4 presenta los resultados del cálculo de un valor de  $Q$  que se ajusta a un valor de  $\beta$  mínimo del 88 %.

**Tabla 4**

*Resultados anuales de búsqueda del valor óptimo*

	Valor	Unidades
$Q$	11 478	Jeringas
$\alpha$	85 %	
$T$	0,16	Años
$\tau$	0,04	Años

(continúa)

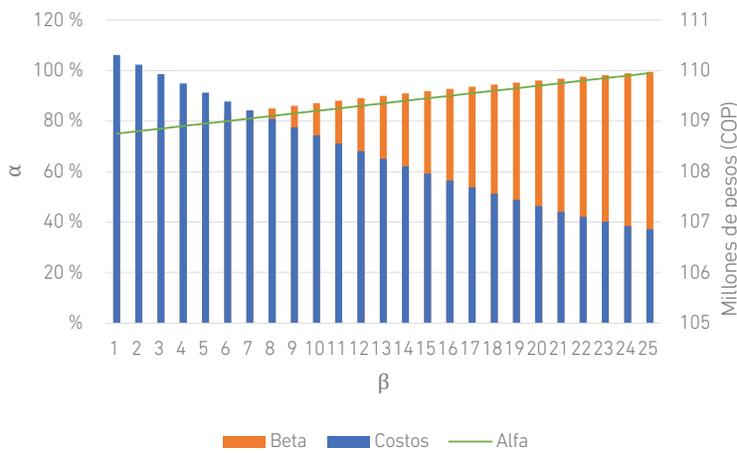
(continuación)

	Valor	Unidades
$S$	15 706	Jeringas
$SS_t$	1520	Jeringas
$\beta$	88,04 %	
Costos totales	110 147 978	COP

La Tabla 4 también muestra los resultados obtenidos con la aplicación de las fórmulas de la Tabla 2. El valor encontrado de  $Q$  es de 11 478 jeringas, que corresponde a la cantidad que debe pedir la clínica cada vez que realiza una orden de jeringas de 10 ml, con el fin de satisfacer la condición mínima correspondiente a una probabilidad estimada de  $\beta$ . De manera análoga, se determina que el inventario de seguridad que deberá tener la clínica para cubrir esta demanda es de 1528 unidades de jeringas de la referencia de 10 ml; así, se entiende que este es el valor mínimo que tendrá que estar disponible permanentemente, con el fin de cubrir faltantes en caso de una situación imprevista que afecte la demanda. Del mismo modo, se realizó una gráfica de costos al variar los valores  $\alpha$  y  $\beta$ , que se expone en la Figura 4.

**Figura 4**

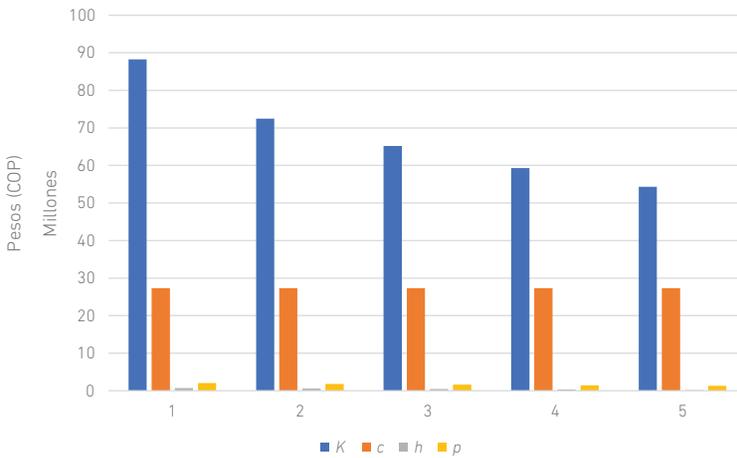
Diagrama de  $\alpha$  y  $\beta$  vs. costos totales (COP)



La gráfica triple comparativa revela el cambio en los costos al variar ambos parámetros, y conforme a esto se puede concluir que, para lograr un valor que sea proporcional al parámetro mínimo de  $\beta$  objetivo, cambiando únicamente el valor de  $Q$  óptimo encontrado, la clínica deberá incurrir en costos totales anuales mínimos de 110 147 978 COP (pesos colombianos). Por otro lado, se realizó el procedimiento para encontrar el valor de  $T$  que minimiza los costos disgregados. La Figura 5 muestra los resultados de este procedimiento.

**Figura 5**

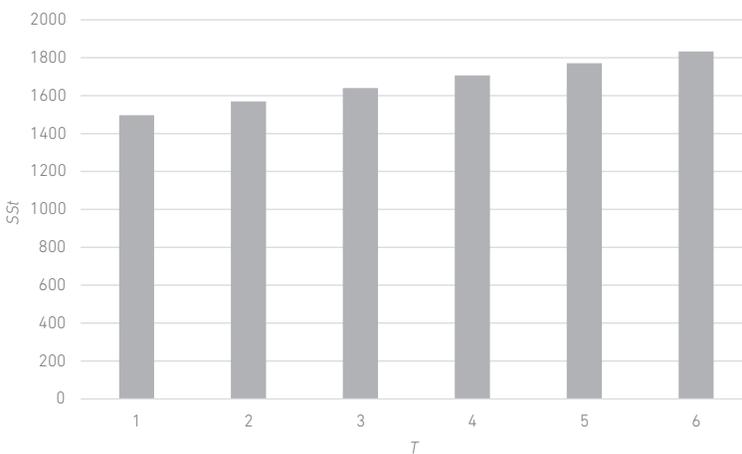
Gráfica de  $T$  mensual con respecto a los costos desgregados anuales



Teniendo los resultados del análisis de costos usando como variable  $T$ , se puede determinar que si la clínica cambia la periodicidad con la que realiza pedidos a un valor de  $T$  anual igual a 3, podrá disminuir sus costos totales en un 31 %, en comparación que si usa un  $T$  de 2 (valor que se emplea en la actualidad). Esto se debe a que el costo más elevado en el que incurre la clínica se registra al momento de realizar los pedidos, por lo que pedir menos veces al año implica reducción de costos significativa para la misma. Correspondiente a esto, se realizó una comparación entre la variación de  $SS$  con respecto a  $T$ . La Figura 6 muestra estos resultados.

**Figura 6**

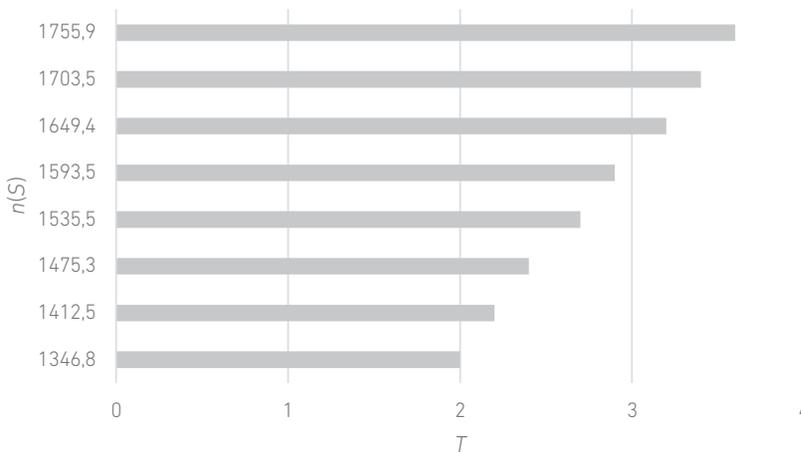
Diagrama de  $SS$  con respecto a  $T$  mensual



A partir de la Figura 6, se concluye que mientras se tenga una frecuencia de pedido menor, manteniendo el  $Q$  hallado previamente para cada pedido, el  $SS$  que ha de mantener la clínica será mayor. Esto se debe a que tendrá que contar con una mayor cantidad de inventario guardado en caso de encontrarse con algún imprevisto que afecte la demanda. Por otro lado, la Figura 7 muestra los resultados del diagrama comparativo entre la variación de  $T$  con respecto al valor esperado de faltantes  $n(S)$ .

**Figura 7**

*Diagrama de  $n(S)$  con respecto a  $T$  mensual*

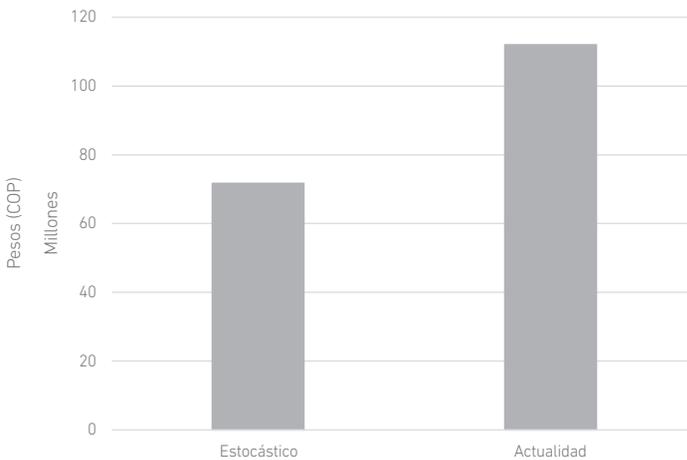


Se puede observar que  $n(S)$  muestra un comportamiento creciente a medida que se aumenta  $T$ . Esto quiere decir que, para cumplir el objetivo de la clínica de minimizar el número de faltantes, teniendo en cuenta los costos, se debe usar un valor de  $T$  mensual igual a 3.

Por último, se realizó la comparación de costos. La Figura 8 muestra los resultados de la comparación entre los costos hallados en el análisis realizado (usando los parámetros obtenidos anteriormente) y los costos reales que tiene la clínica en la actualidad al tratarse de la jeringa de 10 ml.

**Figura 8**

Diagrama comparativo de costos



Al aplicar el escenario estocástico usando la metodología *S, T*, la clínica incurriría en costos anuales iguales a los 71 708 827 COP, en comparación con los 112 000 000 COP (aproximadamente) que gasta en la actualidad en la gestión de inventario correspondiente a las jeringas de 10 ml. Por lo tanto, el análisis realizado sugiere la aplicación de la metodología estocástica, cambiando todos los parámetros actuales de la clínica por los encontrados anteriormente, lo cual significaría una reducción de más del 30 % de los costos totales para esta referencia de jeringas; así resulta un ahorro considerable para la clínica.

## DISCUSIÓN

La implementación del modelo de gestión de inventarios estocástico *S, T*, propuesto por Nahmias (2007), plantea un enfoque con gran aplicabilidad y flexibilidad para el sector hospitalario. El análisis realizado presenta una gran reducción de los costos de inventario para la clínica manteniendo el valor de  $\beta$  correspondiente al 88 %. Esta adaptabilidad es argumentada también por Aguilar (2023). Según este análisis, la metodología estocástica *S, T* optimiza la gestión de inventarios, destacando la utilidad de poder ajustar la frecuencia de pedido *T* en función de la demanda específica del mercado. Por otro lado, Kilic y Tarim (2024) subrayan la variabilidad dentro de la elección de un método de control de inventarios en pequeñas y medianas empresas, enfatizando en la sensibilidad que se debe tener al escoger un método según características como el acceso a proveedores, demanda variable y problemas en la cadena de suministro.

Además, introducir un nuevo modelo de gestión de inventarios para la referencia de jeringas de 10 ml implica nuevos retos empresariales para la clínica, como lo sugiere González (2020), quien aborda la importancia de entender la funcionalidad de las políticas de inventarios frente a cambios inesperados en la demanda. La adaptabilidad es de gran importancia al tratarse del sector hospitalario, como señalan Triana (2022), Chen et al. (2022) y Rehman et al. (2023), por ser un sector con gran variabilidad en la demanda. Considerando esta variabilidad, el inventario de seguridad destaca por ser necesario para combatir la demanda incierta en este sector. Tener un buen manejo al calcular este inventario prueba ser de gran ayuda al momento de mitigar los costos de faltantes, maximizando la satisfacción del cliente.

Por último, Yan et al. (2024) enfatizan la importancia de tener políticas con mejoras continuas, proyectándolas a largo plazo. Al aplicar estos ajustes operacionales dentro de la clínica, se podrá generar un plan de acción a largo plazo, con una política de gestión de inventarios enfocada en suministros médicos, cuyo objetivo no sea solo reducir costos, sino también mejorar la satisfacción de los clientes de la clínica al estar más preparada para soportar la naturaleza variable de la demanda.

## CONCLUSIONES

Se logra evaluar una política de inventario del suministro médico con mayor rotación de un centro de salud ubicado en una zona de acceso difícil. Este análisis consistió en la aplicación del método estocástico  $S, T$ , por medio del cual se encontraron parámetros clave para la toma de decisiones de la empresa, como son  $Q, T, S, SS, \alpha, \beta, n(S)$  y los costos totales relacionados con la gestión de inventarios de la jeringa de 10 ml. Al llevar a cabo este análisis, se determina la efectividad del método establecido, pues consigue una reducción en el nivel de faltantes, al igual que en los costos actuales de la clínica en más del 30 %.

En cuanto a los objetivos específicos, se realizó un diagnóstico sobre el manejo actual de los suministros médicos de la clínica caso de estudio, y se determinó por medio de un diagrama de Pareto la gran contribución a la rotación de suministros médicos de parte de las jeringas de 5 y 10 ml. Una vez identificados, se elaboraron las gráficas de rotación de inventario para cada una de estas referencias de jeringas, a fin de encontrar los niveles superiores e inferiores del inventario. Habiendo realizado estas gráficas, se confirmó que la metodología  $S, T$  era la más adecuada para llevar a cabo el análisis.

Por otro lado, se determinó el comportamiento de la demanda de los suministros médicos correspondientes, definiendo así la naturaleza estocástica de las jeringas. Asimismo, se concluyó que se llevaría a cabo el análisis de la metodología de inventarios únicamente con la referencia correspondiente a la jeringa de 10 ml, basándose en el

comportamiento similar de ambas referencias, al igual que la participación mayoritaria de esta referencia dentro del diagrama de Pareto.

Se llevó a cabo el análisis de costos, así como de todos los parámetros relacionados con estos dentro de la metodología. Se encontró que los valores de  $Q$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $SS_t$  y  $\alpha$  que minimizan los costos, manteniendo una probabilidad de  $\beta$  mínima del 88 %, son de 11 478,3; 15 706; 1952 y 85 % respectivamente. Los costos totales que se encontraron siguiendo la metodología  $S$ ,  $T$  proponen un ahorro de más del 30 % en comparación con los costos actuales, lo cual supone un ahorro considerable para la clínica.

Se sugiere a la clínica llevar a cabo más estudios detallados usando la metodología  $S$ ,  $T$  aplicada en este análisis, con el fin de solidificar los resultados correspondientes a la jeringa de 10 ml. Al realizar más estudios usando otras referencias y más años de datos base, se podrá determinar una política aún más robusta, que logre una reducción mayor en los costos mencionados anteriormente. De esta forma, la clínica podrá adoptar una nueva política de gestión de inventarios para sus suministros médicos con mayor rotación, teniendo más certeza de poder enfrentarse a los retos que puedan surgir en un futuro.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Para la investigación titulada “Evaluación de una política de inventario de suministros médicos con mayor rotación en centros de salud de tercer nivel ubicados en zonas de acceso difícil”, los autores declaran que no existen conflictos de intereses financieros, personales o profesionales que puedan influir en los resultados del estudio. Ninguno de los autores ha recibido financiamiento o mantiene relaciones que puedan afectar la objetividad e integridad de esta investigación.

## DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN A LA AUTORÍA

**Daniel Andrés Gutiérrez Yepes:** conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, *software*, visualización, escritura-borrador original, redacción: revisión y edición. **Luis Tarazona-Torres:** conceptualización, metodología, supervisión, validación, redacción: revisión y edición.

## REFERENCIAS

Aguilar, C. (2023). *Optimización de la gestión de inventarios en cadenas de suministros de alimentos mediante aprendizaje por refuerzo* [Tesis de bachiller, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Séneca de la Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/73187>

- Assiddiqi, M., Anantadjaya, S., Ahmad, I., Le, K., Iswanto, A., Trung, N., Al-Sudani, A., Huy, D., & Mutlak, D. (2022). Integrated pricing and inventory control for perishable products, taking into account the lack of backlog and inventory management policy by the seller. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 47(4), 371-382. <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0020>
- Baek, J. (2024). On the control policy of a queuing–inventory system with variable inventory replenishment speed. *Mathematics*, 12(2), artículo 194. <https://doi.org/10.3390/math12020194>
- Blancas-Rivera, R., Cruz-Suárez, H., Portillo-Ramírez, G., & López-Ríos, R. (2023). (s, S) Inventory policies for stochastic controlled system of Lindley-type with lost-sales. *AIMS Mathematics*, 8(8), 19546-19565. <https://doi.org/10.3934/math.2023997>
- Caicedo, Y., Lozano, J., & Leiva, M. (2022). *Análisis del transporte para el ingreso y salida de bienes a la ciudad de Leticia* [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55601>
- Chang, X., Kwok, W., & Wong, G. (2023). Demand uncertainty, inventory, and cost structure. *Contemporary Accounting Research*, 41(1), 226-254. <https://doi.org/10.1111/1911-3846.12918>
- Chen, C. N., Lai, C. H., Lu, G. W., Huang, C. C., Wu, L. J., Lin, H. C., & Chen, P. S. (2022). Applying simulation optimization to minimize drug inventory costs: A study of a case outpatient pharmacy. *Healthcare*, 10(3), artículo 556. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030556>
- Decreto 521 del 2010. Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 6.º del artículo 24 de la Ley 715 del 2001 y el artículo 2.º de la Ley 1297 del 2009, en lo relacionado con los estímulos para los docentes y directivos docentes de los establecimientos educativos estatales ubicados en las zonas de difícil acceso. 17 de febrero del 2010. Diario oficial 47.626. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=38908> (Colombia).
- González, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(1), 133-142. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000100133>
- Hernández, N., Roldán, D., Zamora, P., & Rosas, J. (2022). Neoliberalismo y subjetividades en la pandemia por COVID-19: casos México y Colombia. *Estudios Sociales Contemporáneos*, 27, 131-154. <https://doi.org/10.48162/rev.48.046>

- Hosseinifard, Z., Shao, L., & Talluri, S. (2021). Service-level agreement with dynamic inventory policy: The effect of the performance review period and the incentive structure. *Decision Sciences*, 53(5), 802-826. <https://doi.org/10.1111/deci.12506>
- Izar, J., Ynzunza, C., & Sarmiento, R. (2012). Determinación del costo del inventario con el método híbrido. *Conciencia Tecnológica*, 44, 30-35. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94425393006>
- Khakbaz, A., Alfares, H., Amirteimoori, A., & Tirkolaee, E. B. (2024). A novel cross-docking EOQ-based model to optimize a multi-item multi-supplier multi-retailer inventory management system. *Annals of Operation Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05790-9>
- Kilic, O., & Tarim, S. (2024). A simple heuristic for computing non-stationary inventory policies based on function approximation. *European Journal of Operational Research*, 316(3), 899-905. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.02.016>
- Ma, B., Mao, B., Liu, S., Meng, F., & Liu, J. (2024). Managing physical inventory and return policies for omnichannel retailing. *Computers & Industrial Engineering*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109986>
- Mallidis, I., Sariannidis, N., Vlachos, D., Yakavenka, V., Aifadopoulou, G., & Zopounidis, K. (2022). Optimal inventory control policies for avoiding food waste. *Operational Research*, 22(1), 685-701. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00554-w>
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones* (5.ª ed.). McGraw Hill.
- O'Neill, B., & Sanni, S. (2018). Profit optimisation for deterministic inventory systems with linear cost. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 303-317. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.032>
- Organización Panamericana de la Salud. (2006). *Guía práctica para la planificación de la gestión del suministro de insumos estratégicos*. <https://www.paho.org/es/node/34962>
- Pham, T., Sahasontaravuti, S., & Buddhakulsomsiri, J. (2022). Determining (s, S) inventory policy for healthcare system: A case study of a hospital in Thailand. *International Journal of Knowledge and Systems Science*, 13(1). <https://doi.org/10.4018/ijkss.306258>
- Rehman, A., Mian, S., Usmani, Y., Abidi, M., & Mohammed, M. (2023). Modelling and analysis of hospital inventory policies during COVID-19 pandemic. *Processes*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/pr11041062>
- Resolución 1442 [Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia]. Por la cual se adoptan las Guías de Práctica Clínica (GPC) para el manejo de las

Leucemias y Linfomas en niños, niñas y adolescentes, Cáncer de Mama, Cáncer de Colon y Recto, Cáncer de Próstata y se dictan otras disposiciones. 6 de mayo del 2013. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1442-de-2013.pdf>

- Ruíz, E., Adarme, W., & Gaitán, H. (2024). Estrategia de abastecimiento colaborativo para el sector salud derivado de un estudio clínico de COVID-19. *Ingeniería y Desarrollo*, 42(1), 47-67. <https://doi.org/10.14482/inde.42.01.345.555>
- Saithong, C., & Luong, H. (2022). A periodic review order-up-to inventory policy in the presence of stochastic supply disruption. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 40(2), 181-199. <https://doi.org/10.1504/ijise.2022.121069>
- San-José, L., Sicilia, J., González-de-la-Rosa, M., & Febles-Acosta, J. (2023). Optimal production-inventory policy for products with time-dependent demand pattern and backlogged shortages. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2203834>
- Snowdon, A., Saunders, M., & Wright, A. (2021). Key characteristics of a fragile healthcare supply chain: Learning from a pandemic. *Healthcare Quarterly*, 24(1), 36-43. <https://doi.org/10.12927/hcq.2021.26467>
- Srivastava, M., Mehta, P., & Swami, S. (2023). Retail inventory policy under demand uncertainty and inventory-level-dependent demand. *Journal of Advances in Management Research*, 20(2), 217-233. <https://doi.org/10.1108/jamr-08-2022-0177>
- Triana, I. (2022). *Modelo de inventarios bajo demandas estacionales* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional de la Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/57461>
- Vidal, G., & Guerrero, C. (2024). Deterministic inventory models with non-perishable product: A comparative study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15, 2500-2517. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02267-1>
- Yan, X., Chao, X., & Lu, Y. (2024). Optimal control policies for dynamic inventory systems with service level dependent demand. *European Journal of Operational Research*, 314(3), 935-949. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.11.005>
- Zheng, M., Cui, N., Zhang, Y., Zhang, F., & Shi, V. (2023). Inventory policies and supply chain coordination under logistics route disruption risks. *Sustainability*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310093>