

# Simulación de un Sistema de Inventarios para la Determinación de Niveles de Reposición y de Servicios: Un caso de estudio

**Alexander D. PULIDO-ROJANO**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Carlos BALLESTAS-ACOSTA**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Kendry DEL-CASTILLO-HERRERA**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Melany NAVARRO-ROSALES**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Tulia FUENTES-ÁVILA**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Andrea PIZARRO-RADA**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Yoharis RODRIGUEZ-OSPINO**

Grupo de Gestión, Optimización y Mejora de Procesos, Grupo de Consultoría e Innovación JJ&N S.A.S  
Barranquilla, C.P. 080016, Colombia

## RESUMEN

La simulación de inventarios es considerada como una técnica eficiente para definir políticas acordes a las características de los productos y a las necesidades de las compañías. En este documento se presenta la aplicación de un modelo de simulación de eventos discretos para determinar los niveles de reposición y de servicio en tres productos con demanda probabilista independiente de una empresa comercial en Colombia. El modelo toma en cuenta la distribución de probabilidad real de la demanda de cada producto para definir la cantidad de pedido y simular datos aleatorios como entradas probabilísticas del modelo. Las medidas de rendimiento y análisis obtenidas durante los experimentos numéricos fueron la utilidad neta, la utilidad bruta, los costos de retención y los costos de incumplimiento. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, el modelo consideró un periodo de simulación de 24 meses, replicado 30 veces para cada producto. Los resultados muestran que el modelo es eficiente para determinar los niveles de reposición y los niveles de servicio, asimismo, se evidencia como la distribución de probabilidad de los productos tienen un efecto directo sobre estos parámetros. En conclusión, este estudio sirve como guía a empresas comerciales que desean determinar, mediante la simulación, sus niveles de inventarios con demanda probabilística independiente orientados al incremento de la utilidad neta de la compañía.

**Palabras Claves:** Simulación, Inventarios, Eventos discretos, Niveles de reposición, Nivel de servicio.

## 1. INTRODUCCIÓN

La simulación una metodología aplicada que permite modelar y adquirir conocimiento sobre el comportamiento de entornos complejos, los cuales muchas veces por sus características son difíciles de interpretar al abordarlos analíticamente [1-3]. Aunque la simulación no es una técnica de optimización, contribuye a la toma de decisiones, permitiendo explorar diferentes aspectos en ambientes reales y ayudando a plantear posibles soluciones a distintos escenarios [4-7]. Su aplicación abarca áreas como el diseño y desarrollo de productos, inventarios, análisis de sistemas estocásticos, análisis de líneas de espera, procesos financieros, sistemas de salud, entre otras [3, 8-9]. Al plantear un modelo de simulación se debe tomar en cuenta que existen dos tipos de variables de entrada a considerar; las controlables que pueden ser manipuladas por el tomador de decisiones y las no controlables, las cuales ingresan al modelo como variables aleatorias o probabilísticas [10]. Generalmente, las variables controlables son definidas antes de correr el modelo con el fin de estudiar el sistema en distintos escenarios, sin embargo, las probabilísticas son generadas al azar durante la simulación para interactuar en el modelo y observar los resultados de esta interacción [11]. Una de las más importantes utilidades de los modelos de simulación es que permiten analizar los posibles resultados de un sistema al cambiar voluntariamente los valores de entrada de las variables controlables y de esta manera, dar recomendaciones acerca de la forma como debe operar el sistema real [1]. Los modelos de simulación se dividen en modelos continuos y modelos discretos. La diferencia entre estos es que los modelos continuos se ocupan de sistemas que cambian continuamente

con el tiempo y los modelos discretos se ocupan de sistemas en donde los cambios en su estado ocurren de manera instantánea en puntos aleatorios o específicos en el tiempo como resultado de la ocurrencia de eventos discretos. En general, la mayoría de los modelos conocidos obedecen a simulaciones por eventos discretos, es más, existen modelos adaptados en donde es posible aproximar cambios continuos en el estado del sistema mediante eventos discretos [6]. La presente investigación propone implementar un modelo de simulación de eventos discretos para la determinación de los niveles de reposición y de servicio de tres productos con demanda probabilista independiente en una compañía comercial en Colombia. Para esto, partiendo de datos históricos, se determinó la distribución de probabilidad de la demanda de cada producto y mediante factores de entrada controlables se obtuvo las cantidades adecuadas de reposición que garantizaron niveles de servicios apropiados para la compañía. Durante la simulación, los valores aleatorios generados para la demanda en un tiempo específico fueron utilizados como eventos discretos que determinaron el funcionamiento del sistema de inventarios. El análisis del sistema incluyó periodos de simulación de 24 meses para cada producto, replicados 30 veces en cada escenario. El presente documento está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 introduce la importancia de los inventarios y la aplicación de los modelos de simulación en este tópico. Sección 3 presenta un resumen de trabajos recientes relacionados con la simulación de inventarios en ambientes reales. El modelo de simulación utilizado en el presente estudio es introducido en la Sección 4. Los resultados y el análisis son mostrados en la sección 5. Finalmente, las conclusiones de la presente investigación son presentadas en la Sección 6.

## **2. INVENTARIOS Y SU SIMULACIÓN**

Los inventarios se pueden definir como la cantidad de bienes o materiales en control de una empresa que se mantienen durante un periodo inactivo o improductivo, antes de su uso [12]. También pueden ser vistos como toda aquella mercancía que posee una empresa en el almacén valorada al costo de adquisición, para la venta o actividades productivas [13]. Otros autores pretenden ser mucho más específicos y definen los inventarios como todas aquellas acumulaciones de material (materia prima, material en proceso o producto terminado) requerido a lo largo del canal logístico (interno y externo) de una organización [14, 15]. En cualquiera de los casos, la importancia de los inventarios radica en que representan un activo con altos costos de capital invertido, deterioro, incumplimiento y almacenamiento, siendo mayores en entidades dedicadas a la fabricación o comercialización de productos [1]. Debido a su importancia, diversas técnicas han sido desarrolladas para el control y gestión de los inventarios, las cuales pasan desde formulas y modelos matemáticos de optimización que consideran en algunos casos factores reales (por ejemplo, los modelos de Cantidad Económica de Pedido, EOQ por sus siglas en inglés) hasta modelos de simulación que imitan los procesos de adquisición y venta. Todos estos, buscan determinar cuáles serían las cantidades óptimas o adecuadas de adquisición y los tiempos de colocación de nuevos pedidos. No obstante, algunos de los modelos analíticos propuestos, consideran cantidades fijas de demanda para distintos periodos o niveles de stock muy elevados que encarecen en gran medida los costos. De acuerdo con lo anterior, las organizaciones prefieren utilizar técnicas confiables para alcanzar niveles altos de servicio y equilibrar las cantidades adquiridas de tal forma que no existan exceso de inventarios o casos recurrentes de

escases. Un escaso inventario representa bajos niveles de servicio al cliente, costos de reordenar materiales, sobre costos logísticos, entre otros, mientras que un gran volumen de inventario representa, costos elevados de almacenamiento, aumentos de pasivos como seguros, impuestos y deterioro de productos que se mantiene en existencia durante periodos extensos [16].

La técnica de simulación de inventarios tiene como objetivo recrear las condiciones no exploradas en la reposición y demanda de productos (D), pretendiendo estudiar distintas situaciones creadas para anticipar imprevistos y tomar decisiones correctas antes de la inversión de capital [11, 12]. Su aplicación en el campo de la logística y la cadena de suministro abarca la simulación de centros de distribución, bodegas, procesos de pedido y demanda, entre otras. Esta técnica, toma como variables de entrada la distribución de demanda real de los artículos estudiados a distintos niveles de reposición, los costos de almacenamiento, los costos de incumplimiento, la utilidad por producto, entre otros factores. La salida o los resultados del modelo contempla la utilidad neta, la utilidad bruta, los niveles de servicios, los momentos de escases, los costos totales de inventarios, entre otros parámetros [11]. Todo lo anterior, finaliza con el diseño de la mejor política de control y gestión de inventarios acorde a las características de cualquier organización.

## **3. ESTADO DEL ARTE**

En los últimos años, los modelos de simulación de inventarios han sido estudiados y aplicados en distintos escenarios y ambientes reales. Por ejemplo, en [17] se propuso un modelo de simulación para estudiar un sistema de inventario para artículos en descomposición continua con tiempo de entrega estocástico y demanda tipo Poisson. Los autores introdujeron una restricción que garantizó un nivel de servicio específico, buscando minimizar el costo total esperado del sistema. En su desarrollo, se utilizó el software de simulación OptQuest como una herramienta de optimización para encontrar soluciones casi óptimas al problema. En [18] se propuso un sistema combinado MRP-JIT en donde se aprovecharon las ventajas de cada técnica. En este estudio se consideró la incertidumbre en la cantidad y la calidad de la demanda satisfecha y se introduce un factor de incertidumbre para reducir el costo total. Este factor se determinó mediante un procedimiento iterativo y un enfoque de simulación. Los componentes de costos a minimizar fueron: El costo de mantenimiento, el costo de pedidos pendientes y los costos de utilización de capacidad excesiva / insuficiente. [19] planteó un enfoque de Optimización vía Simulación (OvS) para determinar el mejor sistema de control de inventario con la selección de proveedores y minimizar los costos, al tiempo que aumenta la ventaja competitiva en un entorno de cadena de suministro totalmente estocástica. Por su parte, [20] describió una combinación eventual de técnicas de simulación de eventos discretos y algoritmo genético para definir la política de inventario óptima en sistemas estocásticos de inventario de múltiples productos. El modelo de eventos discretos utilizado corresponde al sistema de control de inventario justo a tiempo con un punto de pedido flexible. El algoritmo genético se distingue por una codificación cromosómica no binaria, un cruce uniforme y dos operadores de mutación. En el desarrollo de la investigación se describen de forma detallada la técnica de optimización y su utilidad a través de un ejemplo numérico para seis productos. En [21] se desarrolló un enfoque de optimización basado en simulación multiobjetivo para resolver el problema de reabastecimiento de inventario con fletes

premium en cadenas de suministro convergentes. Los autores utilizaron un algoritmo de evolución diferencial multiobjetivo basado en descomposición para determinar el factor de ajuste de la previsión de la demanda, el stock de seguridad y los parámetros de flexibilidad del proveedor que minimizan simultáneamente el costo total de tenencia y las tasas de carga premium entrante y saliente. En su validación, el enfoque fue aplicado a una cadena de suministro automatizada multinacional. Autores como [22] aplicaron un modelo de simulación para determinar la mejor política de inventario en una cadena de suministro de dos escalones que incluye al fabricante y al distribuidor. En este estudio se consideraron tanto la demanda y los tiempos de entrega como aleatorios para minimizar los costos de inventario y satisfacer la demanda de los clientes. Además, se analizaron un conjunto de cantidad de pedido, punto de reorden o período de revisión para diferentes políticas de inventario en función del costo total del inventario y la demanda perdida. [23] desarrolló un modelo de simulación para determinar el inventario de seguridad asociado con un cierto valor del nivel de servicio en un sistema de período de tiempo fijo. El modelo tuvo en cuenta la cantidad real de materiales recibidos de los proveedores y la distribución de probabilidad de la demanda prevista diaria. El modelo de simulación se construyó utilizando la aplicación Visual Basic agregada en Microsoft Excel. En [24] se presentó un método de sistema dinámico para el estudio de sistemas de inventarios con tres escenarios: escenario de situación real, aumento del stock de seguridad y reducción del tiempo de entrega. El modelo busca minimizar los costos en condiciones de escases y sobre inventario. En [25] se propuso un modelo de optimización de inventario de repuestos de equipos basados en simulación por computadora. En su desarrollo se aplicó la teoría de la probabilidad y la estadística matemática para establecer el modelo mínimo de gastos de soporte en función de la disponibilidad del equipo, los valores de confianza de la tasa de disponibilidad del equipo y la probabilidad de soporte de los repuestos. El estudio proporciona una base teórica para resolver los problemas de inventarios y gastos en otras áreas relativas. Por último, [26] estudió un nuevo enfoque para modelar un sistema de inventario capacitado, operando bajo una política (S, T). El modelo simula demanda discreta y tiempo de entrega estocásticos para estimar con precisión las medidas de rendimiento del sistema de inventario, tales como el inventario disponible esperado y la cantidad de almacenamiento excesivo. En la presente investigación presentamos un caso de estudio en la aplicación de un modelo de simulación de eventos discretos para la determinación de las cantidades de reposición y el nivel de servicio de tres productos en una empresa comercial en Colombia. El modelo consideró la distribución de probabilidad de la demanda de los productos, los costos de adquisición, los costos de retención (mantenimiento) y los costos de incumplimiento (escases) de los inventarios para calcular la utilidad bruta y la utilidad neta de la compañía durante los periodos de simulación.

#### 4. MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo de simulación implementado en el presente estudio es explicado en esta sección. El modelo consta de 7 pasos los cuales muestran la forma sistemática en que se ejecuta el experimento de simulación. Los costos de adquisición, retención e incumplimiento se consideran a un nivel de reposición determinado de acuerdo con la distribución de probabilidad de la demanda de los productos. Asimismo, los valores finales de inventario son tenidos en cuenta para

restablecer los niveles de reposición. El procedimiento de implementación se presenta a continuación:

- **Paso 1:** Establecer para cada producto los valores de Precio de Venta (PV), Costo de adquisición (C), Costo de retención o mantenimiento (Cr) y Costo de incumplimiento o escases (CI).
- **Paso 2:** Determinar, mediante datos históricos de demanda, la distribución de probabilidad de cada producto y establecer el nivel de reposición Q acorde al valor promedio de la distribución de probabilidad obtenida.
- **Paso 3:** Iniciar el proceso de simulación generando los valores aleatorios para la demanda prevista (D) de los productos acorde a su distribución de probabilidad para los n periodos de simulación considerados.
- **Paso 4:** Obtener la utilidad bruta y utilidad neta para cada periodo simulado, considerando los casos en los que la demanda D generada es mayor o menor al valor de reposición Q establecido. Cuando D es mayor a Q existirán costos de incumplimiento y cuando Q es mayor a D existirán costos de retención.
- **Paso 5:** Calcular los totales de las cantidades vendidas, el nivel de servicio, las utilidades obtenidas y los costos generados para los n periodos de simulación.
- **Paso 6:** Replicar la simulación m veces y calcular el promedio de las cantidades vendidas, el nivel de servicio, las utilidades obtenidas y los costos generados.
- **Paso 7:** Comprar e identificar los mejores escenarios para definir la política de inventarios que genere mayores beneficios para cada producto.

Este modelo simula la demanda aleatoria como un evento discreto que ocurre en algún punto en el tiempo de la simulación y en combinación con las entradas controlables identifica los mejores escenarios para la ganancia de la empresa. En algunos modelos, el nivel de reposición se establece de acuerdo con la distribución de probabilidad y un stock de seguridad determinado, sin embargo, por solicitud de la compañía, para los experimentos numéricos de este estudio, se estableció como nivel de reposición el valor promedio de la demanda acorde a cada distribución de probabilidad.

#### 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados del estudio de modelado de los inventarios son presentados en esta sección. Para nuestro caso, tres productos de una empresa comercializadora de productos de poliestireno fueron analizados mediante este modelo: Platos de poliestireno No. 20 (Producto 1), rollos de láminas de plástico (6 metros de ancho y 450 metros de largo por rollo) (Producto 2) y bolsas troqueladas (0,305 metros de ancho y 0,4064 metros de largo por bolsa) (Producto 3). Los precios de venta, los costos unitarios (estos incluyen el costo de pedido unitario), los costos de mantenimiento y los costos de incumplimiento se muestran en la Tabla 1. Teniendo en cuenta que el costo de incumplimiento es considerado un costo de oportunidad para la compañía, este se fijó en un 30% de la utilidad bruta que se pudo haber generado con la venta del producto no vendido. El análisis del ajuste de distribución para la demanda mensual prevista considerada desde 2016 a 2019 (48 valores) se muestra en la Tabla 2. Los resultados confirman que los datos de la demanda en el periodo de tiempo analizado para los productos 1 y 2, se ajustan mejor a una distribución “Gaussiana Inversa” representada como IG ( $\mu$ ,  $\lambda$ ), donde  $\mu$  es la media y  $\lambda$  es el parámetro de forma (Escala).

Tabla 1. Valores de precio de venta y costos por producto

Producto	Precio de Venta (\$/Unidad) (\$COP)	Costo de adquisición (\$/Unidad) (\$COP)	Costo de retención (\$/Unidad-Mes) (\$COP)	Costo de Incumplimiento (\$/Unidad) (\$COP)
Producto 1	2,500	1,800	15.52	210
Producto 2	3,050,000	2,700,000	802.64	105,000
Producto 3	30,000	16,000	26.72	4,200

Tabla 2. Resultado de la comparación de distribuciones alternas para la demanda histórica por tipo de producto

Distribución	Producto 1			Distribución	Producto 2			Distribución	Producto 3		
	Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D		Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D		Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D
Gaussiana Inversa	2	-371.457	0.0803957	Gaussiana Inversa	2	-130.846	0.088525	Valor Extremo Más Grande	2	-243.902	0.089014
Birnbaum-Saunders	2	-371.461	0.0805665	Birnbaum-Saunders	2	-130.847	0.088544	Gaussiana Inversa	2	-244.005	0.0889706
Lognormal	2	-371.481	0.0808361	Lognormal	2	-130.9	0.086418	Birnbaum-Saunders	2	-244.011	0.08897
Valor Extremo Más Grande	2	-371.608	0.0936367	Gamma	2	-131.078	0.089467	Lognormal	2	-244.09	0.0866685

Por su parte, el producto 3 se describe mejor mediante una distribución de “Valor Extremo Más Grande” con VEMG ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), donde  $\alpha$  es la moda y  $\beta$  es el parámetro de forma (Escala). De esta forma, se pueden establecer los valores de reposición promedio Q para cada tipo de producto, lo cuales corresponden a los valores medios de cada distribución, estos son: 3249 unidades para el producto 1, 21 unidades para el producto 2 y 165 unidades para el producto 3. Estos hacen parte de las entradas controlables de los experimentos, las cuales interactuarán con los valores aleatorios generados para la demanda. El siguiente paso consiste en generar los valores aleatorios de la demanda D para el tiempo de simulación por producto. En nuestro caso, el periodo n de simulación corresponde a 24 meses, equivalentes a dos años de trabajo de la compañía. En este sentido, durante los experimentos numéricos se generaron 24 valores para la demanda D partiendo de la distribución de probabilidad de los productos y con estas, se calcularon las utilidades brutas y netas, los costos de mantenimiento y los costos de incumplimiento (ver ejemplo de resultados en Tabla 3 para producto 2). Se debe recordar que los costos de mantenimiento se generan cuando Q es mayor a D y los costos de incumplimiento cuando Q es menor a D. Como un ejemplo, la Tabla 3 resume el proceso de simulación para el producto 2 en una sola iteración, es decir, el modelo aplicado una vez ( $m = 1$ ) para un  $n = 24$ . No obstante, en esta sección, se analizarán los resultados de cada producto. Los resultados evidencian que, para el producto 1, las ventas totales ascienden a 73,188 unidades de las 77,369 unidades demandadas alcanzando un nivel de servicio total de  $73,188/77,369 = 0.9459$  (94.59%). Asimismo, se obtuvo una utilidad neta total del 50,279,280.24 \$COP con costos totales de 952,319.76 \$COP. Además, se evidenció que los costos totales de incumplimiento (878,010 \$COP) son aproximadamente 12 veces más altos que los costos de retención (74,309,76 \$COP), aunque el nivel de servicio alcanzado es considerablemente aceptable para este producto. Para el producto 2, se observó como 435 unidades son vendidas de las 455 unidades demandas obteniéndose un nivel de servicio de  $435/455 = 0.9560$  (95.60%). En cuanto a los costos de retención e incumplimiento, vemos como la suma llega a ser de 2,155,382.16 \$COP con diferencias significativas entre estos. La utilidad neta para este producto es de

150,094,617.84 \$COP durante el periodo de simulación, la más alta entre los productos. Con el producto 3 se lograron ventas de 3,750 unidades de 4,516 unidades demandadas para una utilidad neta de 49,277,188.80 \$COP y nivel de servicio de  $3750/4516 = 0.8303$  (83.03%). Este nivel de servicio es el más bajo en esta iteración, lo cual daría una idea acerca del comportamiento de la demanda bajo una distribución de probabilidad de “Valor Extremo Más Grande” al fijar un nivel de reposición promedio. Los costos de retención e incumplimiento para este producto son de 5,611.20 \$COP y 3,217,200 \$COP, respectivamente.

En términos generales se evidencia que, en todos los casos, los costos de incumplimientos son considerablemente mayores a los costos de retención, aun cuando los niveles de servicio pueden considerarse como “aceptables” para cualquier compañía. Esto se debe al alto valor que fue asignado a este costo (30% de la utilidad bruta/unidad) durante el estudio. En términos de utilidad es mucho más conveniente asegurar un mayor nivel de servicio para el producto 2 y aunque, las utilidades de los productos 1 y 3 son similares, estas pueden mejorar si se incrementa el nivel de servicio del producto 3. Lo anterior se puede lograr al simular el modelo para determinar un stock de seguridad adecuado para este producto.

Un análisis adicional fue hecho para analizar el comportamiento del modelo y los valores promedio de los parámetros de rendimiento. En este sentido, el modelo fue replicado 30 veces ( $m = 30$ ) para cada producto. Los resultados de los estadísticos descriptivos del promedio ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el Coeficiente de Variación (CV) de los parámetros son presentados en la Tabla 4. Los resultados de este análisis muestran valores muy parecidos a los obtenidos en la primera iteración del modelo. Además, es interesante ver como los valores con mayor variabilidad en términos de Coeficiente Variación corresponden a los costos de retención e incumplimiento, demostrando la alta dispersión de los costos obtenidos cuando se corrió el modelo. No obstante, esta la variabilidad no afecta la estabilidad de los valores para las utilidades y los niveles de servicios, los cuales son bastante estables. Lo anterior, asegura una alta confiabilidad en los resultados y en la predicción del comportamiento de los inventarios. Se destacan también utilidades netas promedios de 49,553,633.65 \$COP, 159,281,065.5 \$COP y 48,148,573.15 \$COP para los productos 1, 2 y 3, respectivamente. Un costo de incumplimiento total promedio de 7,334,421 \$COP para los tres productos, lo cual la compañía deberá intentar reducir especialmente para los productos 2 y 3. Asimismo se destacan niveles de servicio promedios cercanos al 93.00% para los productos 1 y 2, aun cuando Q corresponde al valor medio de la demanda. Esto da una idea de la influencia que tiene la distribución de probabilidad de la demanda al fijar el nivel de reposición.

Tabla 3. Resultados de los experimentos de simulación para producto 2

<i>n</i>	Q	D	Ventas	Utilidad Bruta (\$)	Costo de retención (\$)	Costo de incumplimiento (\$)	Utilidad neta (\$)
1	21	12	12	4,200,000	7,223.76		4,192,776.24
2	21	14	14	4,900,000	5,618.48		4,894,381.52
3	21	23	21	7,350,000		210,000	7,140,000.00
4	21	15	15	5,250,000	4,815.84		5,245,184.16
5	21	21	21	7,350,000			7,350,000.00
6	21	17	17	5,950,000	3,210.56		5,946,789.44
7	21	23	21	7,350,000		210,000	7,140,000.00
8	21	21	21	7,350,000			7,350,000.00
9	21	17	17	5,950,000	3,210.56		5,946,789.44
10	21	19	19	6,650,000	1,605.28		6,648,394.72
11	21	17	17	5,950,000	3,210.56		5,946,789.44
12	21	25	21	7,350,000		420,000	6,930,000.00
13	21	18	18	6,300,000	2,407.92		6,297,592.08
14	21	11	11	3,850,000	8,026.40		3,841,973.60
15	21	16	16	5,600,000	4,013.20		5,595,986.80
16	21	25	21	7,350,000		420,000	6,930,000.00
17	21	22	21	7,350,000		105,000	7,245,000.00
18	21	18	18	6,300,000	2,407.92		6,297,592.08
19	21	17	17	5,950,000	3,210.56		5,946,789.44
20	21	18	18	6,300,000	2,407.92		6,297,592.08
21	21	20	20	7,000,000	802.64		6,999,197.36
22	21	24	21	7,350,000		315,000	7,035,000.00
23	21	17	17	5,950,000	3,210.56		5,946,789.44
24	21	25	21	7,350,000		420,000	6,930,000.00
TOTAL		455	435	152,250,000	55,382.16	2,100,000	150,094,617.84

Tabla 4. Parámetros de rendimiento del modelo de simulación por tipo de producto.

	Producto 1			Producto 2			Producto 3		
	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	$\bar{x}$	$\sigma$	CV
Demanda (Unidades)	77,885.56	2,897.72	3.72%	500.63	21.23	4.24%	4,417.03	185.39	4.20%
Ventas (Unidades)	72,521.17	1,582.27	2.18%	465.67	9.84	2.11%	3,845.67	53.66	1.40%
Utilidad Bruta (\$COP)	50,764,816.67	1,107,586.74	2.18%	162,983,333.3	3,444,444.13	2.11%	50,689,530.33	751,231.87	1.48%
Costo de retención (\$COP)	84,659.01	24,556.78	29.01%	30,767.87	7,898.99	25.67%	4,847.18	1,433.78	29.58%
Costo de incumplimiento (\$COP)	1,126,524	427,507.96	37.95%	3,671,500	1,371,386.25	37.35%	2,536,397	686,070.89	27.05%
Utilidad neta (\$COP)	49,553,633.65	1,096,228.21	2.21%	159,281,065.5	2,654,828.82	1.67%	48,148,573.15	936,298.16	1.94%
Nivel de Servicio (ventas/demanda - %)	0.9318	0.02380	2.55%	0.93103	0.02296	2.47%	0.87191	0.03333	3.82%

## 6. CONCLUSIONES

Los modelos de simulación logran ser una herramienta efectiva para la toma de decisiones empresariales en muchos contextos reales. Su aplicación en el área de los inventarios orienta a definir políticas que ayudan a las compañías a garantizar niveles deseados de reposición y de servicio. En este documento, se ha presentado la aplicación sistemática de un moldeo de simulación de inventarios con demanda probabilística independiente para estudiar y analizar los niveles de reposición promedio y los niveles de servicio obtenidos para tres productos de una empresa comercial en Colombia. En la aplicación del modelo, el cual fue replicado 30 veces, se consideraron la distribución de probabilidad para la demanda real de los productos y se obtuvieron como medidas de rendimiento, la utilidad neta, los costos de retención y los costos de incumplimiento. Los resultados muestran que definir un nivel de reposición promedio a la distribución de probabilidad de la demanda para los productos 1 y 2 logra ser una estrategia eficiente para garantizar niveles de servicio superiores al 93.00%.

Sin embargo, esta estrategia no tiene el mismo efecto para el producto 3, el cual alcanzó un nivel de servicio promedio cercano al 87%. Lo anterior evidencia como la distribución de probabilidad de los productos tiene un efecto distinto en el rendimiento los inventarios, cuando se fijan los valores promedios de la distribución. Para los productos en donde esto suceda, se recomienda definir un stock de seguridad mediante experimentos numéricos de simulación que garanticen mayores niveles de servicio y bajos costos, como no existen definidos analíticamente el cálculo del stock de seguridad para todos los tipos de distribución de demanda. En próximos estudios se estudiará el efecto del stock de seguridad para los distintos tipos de distribución mediante un modelo de simulación análogo al presentado en el presente documento. De esta manera, este estudio sirve como base de orientación para empresas comerciales que quieran estudiar distintos niveles de reposición y servicios de sus inventarios.

## 7. REFERENCIAS

- [1] F. Hillier y G. Lieberman, *Introducción a la investigación de operaciones*, McGraw - Hill Interamericana, 10ma ed., México D.F., 2015.
- [2] A. Pulido-Rojano y J.C. García-Díaz, “Simulación y mejora del proceso de pesaje multicabezal”, *Proceedings of Decima Séptima Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI)*, Orlando-Florida, USA, 8 al 11 de Julio de 2018, pp. 58-63.
- [3] D. Heredia Acevedo, Y. Fernando Ceballos y G. Sanchez Torres, “Modelo de simulación de eventos discretos para el análisis y mejora del proceso de atención al cliente”, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, Vol. 8, No. 2, 2020, pp. 44 -61. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3639>
- [4] R. Shannon, "Introduction to the art and science of simulation", *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington D.C., USA, 13-16 December 1998, pp. 7-14.
- [5] J.S.I.I. Carson, "Introduction to modelling and simulation". *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, New Orleans, USA, 7-10 December 2003, pp. 7-13.
- [6] F. Ceballos, J.P. Betancur Villegas, y J. D. Betancur Villegas, “Simulación Discreta Aplicada a los Modelos de Atención en Salud”, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, Vol. 2, No. 2, 2014, pp. 10-14, <https://doi.org/10.17081/invinno.2.2.2045>
- [7] A. Pulido-Rojano, A. Verdeza-Villalobos, G. Salas-Roa, A. Muñoz-Iglesias, A. Echavarría-Collante y M. De La Rosa Romero “Simulación de un Sistema de Colas en un proceso de atención de buques en el puerto de Barranquilla-Colombia”. *Proceedings of Vigésima Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI 2021)*, Orlando-Florida, USA, 18 al 21 de Julio de 2021, pp. 7 – 12.
- [8] P. Sánchez-Sánchez, J.R. García-González, C. H. Fajardo Toro, A. Pulido-Rojano y E. Melamed-Varela, *Simulación de sistemas de emergencia en salud, en Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas: Un enfoque desde estudios iberoamericanos*, A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez y E. Melamed-Varela. (eds), Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2018, pp. 165-210.
- [9] A. Pulido-Rojano, J.C. Calabria-Sarmiento, O. Osorio-Marín, T. Prada-Ballestas, R. Ariza-Corro, D. Atencia-Colina & J. Molina-Londoño, “Simulation model based on the BCG matrix and Markov chains”, *Journal of Management Information and Decision Sciences*, Vol. 24, Special Issue 1, 2021, pp. 1-12
- [10] M.A. Law, "How to build valid and credible simulation models", *Proceedings of the 38th Winter Simulation Conference*, Monterey, California, 2006, pp. 58-66.
- [11] D.R. Anderson, D.J. Sweeney, T.A. Williams, J.D. Camm, J.J. Cochran, M.J. Fry and J.W. Ohlmann, “Fundamentos de Métodos cuantitativos para los negocios”, 13th Edición, Ciudad de México: México: Cengage Learning, 2019.
- [12] N. Vandeput, “Inventory optimization: Models and simulations”, De Gruyter, Brussels, Belgium, 2020.
- [13] S.F. Love, *Inventory control*, Auckland: McGraw-Hill, 1979.
- [14] A. Pulido-Rojano, A. Pizarro-Rada, M. Padilla-Polanco, M. Sánchez-Jiménez and L. De-la-Rosa, “An optimization approach for inventory costs in probabilistic inventory models: A case study”, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, Vol. 28, No 3, pp. 383-395, 2020.
- [15] A. Pulido-Rojano, D. Martínez-Sierra y R. Ruiz-Castro, “Modelo de Clasificación de Inventarios bajo un enfoque de Llamadas-Costos. Un caso de estudio en la Industria Carbonera en Colombia”, *Proceedings of Décima Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI 2020)*, Orlando-Florida, USA, 13 al 16 de septiembre de 2020, pp. 24-29.
- [16] M. Torres Salazar y P. García Mancera, “Administración de inventarios un desafío para las pymes”, *Inventio*, Vol. 13, No. 29, pp. 31-38, 2017.
- [17] M. Alizadeh, H. Eskandari and S.M. Sajadifar, “A simulation model to analyze an inventory system for deteriorating items with service level constraint”, *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, Vol. 24, No. 6, pp. 587-603, 2017.
- [18] M.F. Khalil, S.S. Kassem and M. Gadallah, “A combined inventory and just in time policy under uncertainty: A simulation approach”, *Journal of Engineering and Applied Science*, Vol. 64, No. 3, pp. 213-229, 2017.
- [19] M. Gocken, A.T. Dostdogru and A. Boru, “Optimization via simulation for inventory control policies and supplier selection”, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 16, No. 2, pp. 241-252, 2017.
- [20] I. Jackson, J. Tolujevs and T. Reggelin, “The combination of discrete-event simulation and genetic algorithm for solving the stochastic multi-product inventory optimization problem”, *Transport and Telecommunication*, Vol. 19, No. 3, pp. 233-243, September 2018.
- [21] M.G. Avci and H. Selim, “A multi-objective simulation-based optimization approach for inventory replenishment problem with premium freights in convergent supply chains”, *Omega*, Vol. 80, pp. 153-165, October 2018.
- [22] V.T. Kim Cuc, N.T. Thi and N.T. Le Thuy, “A Simulation Modelling Approach for Selection of Inventory Policy in a Supply Chain”, *Proceedings of International Conference on System Science and Engineering (ICSSE 2019)*, Dong Hoi City, Viet Nam; 20 - 21 July 2019, pp. 349-354.
- [23] L.T.T. Kien, A. Ma'aram, S.A.H.S. Hassan, N.H.A. Ngadiman and A.Z.A. Kadir, “A simulation-based model for determining safety inventory at a fixed-time period system”, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol. 8, No. 12, pp. 2775-2780, October 2019.
- [24] M. Satori, P. Renosori and H. Fauzan, “Dynamic modeling of an inventory system to minimize of inventory cost”, *Proceedings of 3rd International Conference on Innovation in Engineering and Vocational Education 2019 (ICIEVE)*, West Java, Indonesia, 26 November 2019, DOI: 10.1088/1757-899X/830/3/032094.
- [25] L. Wang, L. Tan, S. Liu, and Y. Liu, “Inventory Optimization Models of Equipment Spare Parts Based on Computer Simulation”, *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS 2020)*, Shenyang, China, 8 - 30 July 2020, pp. 235-237.
- [26] P.D. Tai, P.P.N. Huyen, and J. Buddhakulsomsiri, “A novel modeling approach for a capacitated (S,t) inventory system with backlog under stochastic discrete demand and lead time”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-14, 2021.