

Tipo de artículo: Artículos originales

Temática: Ingeniería de software

Recibido: 26/12/2024 | Aceptado: 07/02/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:

DOI: [10.48168/innosoft.s24.a268](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a268)

ARK: [ark:/42411/s24.a268](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a268)

PURL: [42411/s24.a268](https://purl.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a268)

Evaluación de Costos en la Gestión de Inventarios: Un Estudio de Simulación Basado en Python

Cost Evaluation in Inventory Management: A Simulation Study Based on Python

Francisco Bencomo Murga¹[\[0009-0001-2109-3096\]](#), Rosa Ma Amaya-Toral²[\[0000-0002-3277-2721\]](#)^{*}, Martha Patricia García- Martínez³[\[0000-0002-7275-0842\]](#)

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.

M23550866@chihuahua2.tecnm.mx

²Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.

rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx

³Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.

martha.gm@chihuahua2.tecnm.mx

*Autor para correspondencia: rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx

Resumen

Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación cuyo objetivo fue diseñar un proceso de simulación a través de un modelo estocástico-dinámico y la herramienta Jupyter Notebook con programación Python, para conocer y analizar el comportamiento de los costos asociados a un sistema de gestión de inventarios con demanda estocástica y con revisión periódica, en una empresa distribuidora de nuez. Se recopilaron datos sobre los costos de mantener el inventario, costos por faltante, costos de ordenar, la capacidad del almacén, los tiempos de entrega y de la demanda, correspondientes a los últimos 6 meses. Los resultados obtenidos revelaron que, en el horizonte de 3 meses, el costo operativo presenta un comportamiento parabólico en relación con la demanda, que permite identificar el punto óptimo o de equilibrio entre el inventario y los costos promedio totales, dependiendo de una demanda incierta.

Palabras claves: Gestión de inventarios, Simulación, Costos operativos, Demanda aleatoria, Optimización.

Abstract

This article presents the results of a research project whose objective was to design a simulation process using a stochastic-dynamic model and the Jupyter Notebook tool with Python programming, to understand and analyze the behavior of the costs associated with an inventory management system with stochastic demand and periodic review, in a walnut distribution company. Data was collected on inventory holding costs, shortage costs, ordering costs, warehouse capacity, delivery times and demand for the last 6 months. The results obtained revealed that, over a 3-month horizon, the operating cost presents a parabolic behavior in relation to demand, which allows identifying the optimal or equilibrium point between inventory and total average costs, depending on an uncertain demand.

Keywords: Inventory management, Simulation, Operating costs, Random demand, Optimization.

Introducción

En los ambientes de fabricación modernos, se adopta un enfoque que propone la integración de los actores de la cadena de valor, comprendiendo la cadena de suministro como la red de actores que colaboran a lo largo de todo un proceso para adquirir, convertir, y entregar productos a los clientes [1], cuando F. W. Harris en su artículo [2] introdujo conceptos de los costos asociados al manejo de inventarios, comenzó a manejarse conceptos clave que priorizan la optimización de los recursos tal como “just in time” [3], concepto que propone un recibo, proceso y entrega de bienes solo cuando son necesarios. No es de sorprender que Taiichi Ohno en su libro [3] define el exceso de inventario como parte de los 7 desperdicios.

En la globalización y evolución del comercio se comenzó a adoptar contratos más rigurosos donde empezaron a incluirse cláusulas para asegurar el suministro, a través de medidas como multas por incumplimiento [4], además de la posible obsolescencia del inventario [5], crearon la necesidad de sistemas para el planificación de materiales MRP [6] y desarrollos donde se integra el MRP con procesos clave interdepartamentales a través de una base de datos común como lo es un ERP [7], panorama que permite estudios avanzados en la reducción de costos.

Considerar diferentes aspectos en el análisis de inventarios como la recopilación de datos, el modelado de información, la experimentación y la optimización resulta fundamental y crea una un ambiente con métodos de simulación [8]. Los lenguajes de programación modernos otorgan numerosas funciones acompañadas de librerías, como Numpy como una herramienta esencial para realizar operaciones matemáticas [9], y Matplotlib como una de las herramientas de visualización de datos que permiten una visualización de mayor popularidad [10], lo que facilita la toma de decisiones basadas en datos precisos [11].

Materiales y métodos

Esta investigación tiene su base en las 7 etapas para realizar el estudio de simulación [12], esta plantea una serie de pasos clara que consta de:

1. **Definición y análisis del sistema:** Estudio preliminar para identificar interacciones, restricciones, variables y relaciones dentro del sistema. Se crean diagramas de flujo y se definen las medidas de efectividad y los resultados esperados.
2. **Recolección y análisis de datos:** Se obtienen los registros necesarios para la experimentación. Se realizan pruebas de bondad de ajuste para confirmar su validez.
3. **Implementación del modelo:** Mediante los datos recopilados se utiliza un simulador específico para

crear el modelo y obtener resultados.

4. **Verificación y validación:** Se valida su exactitud mediante comparación con datos históricos y/o pruebas a partir de los datos reales.
5. **Experimentación:** Se procesan escenarios para analizar la variable de interés, y se comparan estadísticamente.
6. **Interpretación:** Los resultados se someten a la interpretación para apoyar la toma de decisiones.
7. **Documentación:** La crea documentación técnica es para que el usuario sea capaz de utilizar del modelo desarrollado.

De igual forma la simulación de Monte Carlo [13] es fundamental para modelar la demanda aleatoria, así como identificar la distribución de probabilidad de la variable aleatoria [14] y la generación de números pseudoaleatorios [15]. Y por medio de la definición de las características principales de la simulación, podremos emular la relación modelo-sistema, descrito en la Figura 1.

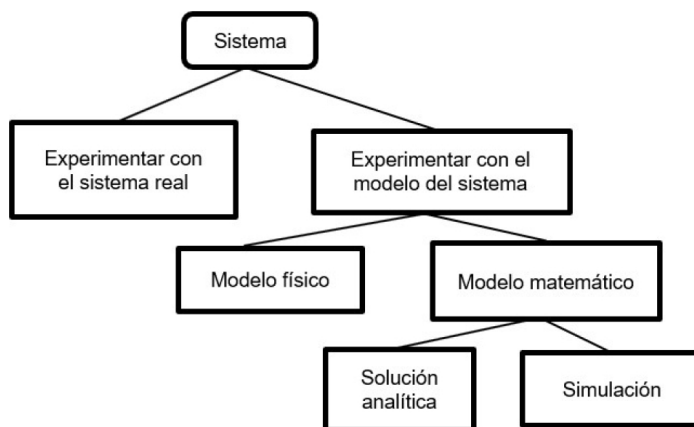


Figura 1. Esquema de la Simulación relación modelo-sistema

Fuente: Simulación de sistemas con variables aleatorias para la toma de decisiones estratégicas [16].

Además, Jupyter Notebook [17] se utiliza como herramienta complementaria en el análisis y visualización de datos dentro del proceso de simulación. La herramienta derivada de su interfaz interactiva permite combinar código y resultados en un solo documento. Al integrar estas características tiene como resultado la sencilla creación de gráficos y visualizaciones dinámicas con el objetivo de interpretar los datos generados en la simulación.

Resultados y discusión

Para llevar a cabo este estudio, se recopilaron y analizaron datos relacionados con el sistema de inventarios de la tienda distribuidora de nuez. El objetivo fue analizar el comportamiento del inventario, así como los costos asociados a su gestión. A continuación, se presenta un desglose de las variables, elementos de flujo, eventos y actividades analizadas:

Variable de estado

- Inventario promedio diario en almacén: Representa el nivel promedio de existencias disponibles en la bodega de la tienda.

Elementos de flujo

- Clientes: Se consideran las interacciones entre los clientes y la tienda, ya que generan la demanda de nuez, afectando el inventario.

Eventos

- Entregas del proveedor de nuez: Cada vez que se recibe un pedido del proveedor, se actualiza el nivel de inventario.
- Demanda de nuez por el cliente: La demanda diaria de los clientes impacta directamente en el consumo del inventario.
- Ventas de nuez al cliente: Las ventas concretadas reflejan el nivel de inventario disponible para satisfacer la demanda.

Actividades

- Cálculo de los costos: Se analizaron los costos asociados al manejo del inventario, incluyendo costos de ordenar, mantenimiento de inventarios y costos por faltantes.

Datos identificados tras el análisis

En la Tabla 1 se presentan los datos recopilados y su descripción.

Tabla 1. Recopilación de datos

Variable/Parámetro	Valor	Descripción
Costo por kilo faltante	\$6/kg	Representa el costo asociado a cada kilo de nuez que no se puede surtir debido a la falta de inventario.
Costo de mantener inventario	\$1/kg	Costo diario por mantener un kilo de nuez en el almacén, considerando almacenamiento y deterioro.
Costo de ordenar	\$1,000/orden	Costo fijo asociado al procesamiento y recepción de cada pedido realizado a la planta.
Capacidad del almacén	700 kg	Máximo nivel de almacenamiento disponible en la tienda distribuidora de nuez.
Demanda diaria promedio	100 kg/día	Resultado del análisis de datos históricos, ajustado a una distribución exponencial.
Distribución ajustada	Exponencial	Tras el estudio, se determinó que la demanda diaria sigue una distribución exponencial con una media aproximada de 100 kg/día.
Duración del horizonte de análisis	3 meses	El estudio cubre un periodo de 90 días para analizar el comportamiento del sistema de inventarios.

En la Figura 2 se presenta la estadística descriptiva de la muestra de la demanda diaria, la cual presentó una media aproximada de 100 kg/día, después de analizar una muestra de 500 datos de demanda diaria histórica.

```
In [41]: # Generar estadísticas descriptivas
descripcion = df.describe()
# Mostrar estadísticas descriptivas
print(descripcion)
skewness = df.skew()
kurt = df.kurtosis()
print("\nAsimetría (Skewness):",skewness)
print("\nCurtosis (Kurtosis):",kurt)
```

Datos

count	500.000000
mean	99.969905
std	99.371400
min	0.011984
25%	30.370842
50%	68.800395
75%	139.609775
max	579.856100

Asimetría (Skewness): Datos 1.857493
 dtype: float64

Curtosis (Kurtosis): Datos 4.131805
 dtype: float64

Figura 2. Estadística descriptiva de la muestra de la demanda diaria

En la Tabla 2 se presentan los datos obtenidos en la muestra de la demanda diaria.

Tabla 2. Muestra de demanda diaria

Muestra									
94.51546	118.7982	15.64874	121.565	68.77748	99.33722	143.0744	11.9107	48.58899	19.05385
191.4297	189.9046	23.93825	249.0144	299.428	154.6956	150.797	61.28484	579.8561	74.68035
173.2176	173.0497	292.0734	32.0958	238.2213	137.8475	320.1655	52.11956	7.550695	37.69048
15.70868	40.70482	66.75163	454.9824	35.73748	93.25901	14.75634	265.4549	38.21153	15.01969
362.7232	22.62785	71.82764	102.624	8.200903	37.8673	78.18447	250.053	68.44956	41.8764
14.9179	35.49725	172.8812	133.5961	33.59608	11.73453	51.42106	129.3228	70.10192	227.9646
303.7075	42.47138	27.58979	8.640979	101.0079	6.313158	92.92795	148.0169	38.21503	64.77328
215.8853	82.58373	6.481566	3.356358	92.63399	86.52622	73.43662	222.7117	85.7902	63.38144
52.89019	16.78673	198.688	76.71275	40.17619	47.35728	39.86584	28.224	193.3928	140.1268

Muestra (continuación)									
366.687	31.96797	83.82042	170.7873	125.3418	81.08312	189.2522	6.272239	29.25954	214.7161
41.29754	139.6883	167.5212	195.8719	452.0335	40.28273	22.03913	99.52419	46.65145	310.4723
96.82739	165.0408	110.9355	121.1491	10.88773	0.022515	273.1238	162.1561	28.07127	140.7365
55.74271	175.4918	106.5656	1.453514	0.011984	59.53359	31.70186	70.54427	40.58554	2.762985
127.3696	165.0304	112.6549	47.74235	172.5558	2.460621	153.9127	21.77082	50.66258	71.46932
82.52595	139.5836	296.183	20.45867	32.49367	160.3205	35.45286	52.35182	523.0415	20.37547
3.518948	38.0858	43.98597	130.5749	11.52934	35.8359	9.074489	28.01135	47.62586	19.36477
16.27006	32.73579	2.379624	1.549542	130.023	9.934096	133.9065	64.57727	171.1328	201.4601
5.802132	199.6584	17.33652	52.69217	135.7307	8.499276	11.66827	56.38876	2.489601	12.64244
293.877	111.024	28.91124	47.46267	44.97882	189.1713	199.18	8.38683	35.13978	1.209543
1.693917	8.605975	63.65713	167.7813	75.64899	130.9867	14.92928	13.69917	226.1559	63.88397
155.5998	448.1557	106.2246	16.0503	227.1482	55.73818	25.91666	73.77852	123.7597	99.60135
100.095	189.0564	116.6273	68.64868	49.07011	236.8454	75.87236	46.94613	76.55877	58.82895
54.06267	2.600717	125.052	94.10812	72.05941	130.0215	33.85594	133.908	36.88977	58.95629
34.95017	120.7459	19.69447	24.55689	44.84681	207.5409	12.51909	34.4713	105.5966	198.0094
86.89389	303.4525	16.38928	68.03903	47.21014	116.1099	2.969733	126.5566	43.86277	21.36175
53.65738	25.73809	68.38981	20.1044	88.35913	73.30528	81.83323	100.3121	336.5323	7.521093
95.52879	102.4619	50.45682	66.24411	43.07104	91.27893	167.6059	22.07979	544.4813	2.584348
85.8034	15.44131	150.931	66.57596	33.37697	211.2475	16.41069	51.24405	34.3472	26.80239
50.82956	63.6441	69.81053	353.1045	95.01013	322.2444	74.21268	313.572	149.3588	62.95014
18.16602	362.459	9.766895	62.25364	8.392936	86.64813	20.41264	25.28039	41.54288	122.5234
5.326328	27.0846	88.0052	71.9236	95.05271	116.6738	59.4014	297.6911	67.3018	215.6496
75.11473	131.3661	14.5113	9.174214	168.3012	112.078	58.8355	44.87328	463.0974	34.60068
11.70106	142.2077	51.67987	12.79202	50.90869	123.8248	117.9386	36.1458	15.37464	72.49924
165.7896	122.2396	337.6097	2.834759	30.41483	35.89647	185.598	40.35986	97.33532	9.0145
143.4942	98.51731	33.40249	7.081714	162.9039	192.8692	110.8125	23.80205	69.27737	2.602964
23.95523	143.326	74.32816	107.9936	236.184	7.597678	121.3909	145.1726	46.33231	5.59146
38.26449	65.37195	37.87535	210.2652	178.8026	107.5998	246.6884	114.1643	55.68836	68.41041
88.52496	22.43852	24.03912	93.65721	1.862547	62.45278	87.24892	77.50366	150.1503	76.90143
1.241401	39.74904	350.2009	12.61078	176.6815	150.743	30.23888	311.0483	27.29628	54.15124
4.134867	1.160998	75.73772	90.5463	148.8628	303.1009	293.8398	80.09548	177.8939	250.6495
55.12862	52.93751	48.90066	127.8575	273.8649	63.84643	6.492385	37.96826	122.0039	13.62424
24.05522	62.18507	203.4552	69.18992	145.1417	88.82025	15.36746	2.104748	73.19394	30.94043

Muestra (continuación)									
17.3692	132.7105	12.61994	185.0719	82.83608	21.46619	1.738576	287.1485	31.20761	1.821865
197.4442	113.4723	57.1234	119.3742	61.60252	8.573763	160.7592	182.7649	23.40762	63.02848
201.4984	83.94929	5.376347	156.3762	428.2299	39.03004	170.0923	11.20205	518.0814	135.242
167.4853	83.80657	59.23607	107.9399	169.9779	41.9	417.8919	18.20035	24.68239	118.9538
28.08057	26.26758	124.2852	102.7178	116.4919	28.47207	167.3517	76.99023	149.371	44.51512
180.9228	125.172	16.90211	55.05045	12.72938	214.078	49.56528	68.32127	478.4201	343.5402
13.23096	72.84194	45.42073	382.9963	33.04857	35.62046	68.82331	110.8477	178.1472	39.69928
175.1843	37.56482	152.6663	29.59187	88.17762	65.04477	57.80299	123.6719	0.758726	26.06221

Con los datos recopilados, después de someterlos a una prueba de Bondad de Ajuste, con un nivel de significancia del 5 %, presentaron el ajuste a la Distribución Exponencial con una media de 99.9699 kg., el cual se utilizó para el análisis posterior. La Figura 3 muestra un fragmento de código que simula la gestión de inventarios, considerando costos y demandas diarias. A continuación se describe el funcionamiento de cada parte del código:

```
# Parámetros
media_dia = 110 # demanda media diaria en kg
capacidad_bodega = 700 # capacidad máxima de almacenamiento en kg
costo_ordenar = 1000 # costo por orden
costo_faltante = 6 # costo por kg de falta de inventario
costo_mantener = 1 # costo de mantener el inventario por kg
dias_simulacion = 90 # horizonte de simulación (3 meses)
revisiones = dias_simulacion // 7 # número de revisiones en 90 días
cantidad_inicial = capacidad_bodega # cantidad inicial en la bodega
```

Figura 3. Definición de parámetros en Jupyter Notebook

Inicialización de variables:

1. inventario y costo_total se usan para registrar los valores de inventario y costos diarios.
2. demanda_diaria genera las demandas diarias de manera aleatoria.
3. inventario_actual representa el inventario disponible en el día actual.

4. costo_acumulado lleva un registro del costo total acumulado.

Ciclo de simulación:

1. Por cada día (for dia in range (dias_simulacion)), se calcula la demanda del día.
2. Reposición de inventario: Cada 7 días, se realiza un pedido para rellenar el inventario hasta su capacidad máxima, añadiendo el costo de ordenar.
3. Actualización de inventario: Se descuenta la demanda diaria del inventario disponible.
4. Costo por faltantes: Si el inventario llega a ser negativo, se calcula el costo por productos no disponibles.
5. Costo por mantener inventario: Se añade un costo diario proporcional al inventario restante.

Almacenamiento y cálculo de resultados: Se guardan los valores diarios en listas (inventario y costo_total).

La Figura 4 contiene los visuales de la simulación en Jupyter, que consiste en dos gráficos que describen el comportamiento del inventario y de los costos, en una simulación de gestión de inventarios, representando la estabilización, la cual indica estabilidad en el resultado final obtenido.

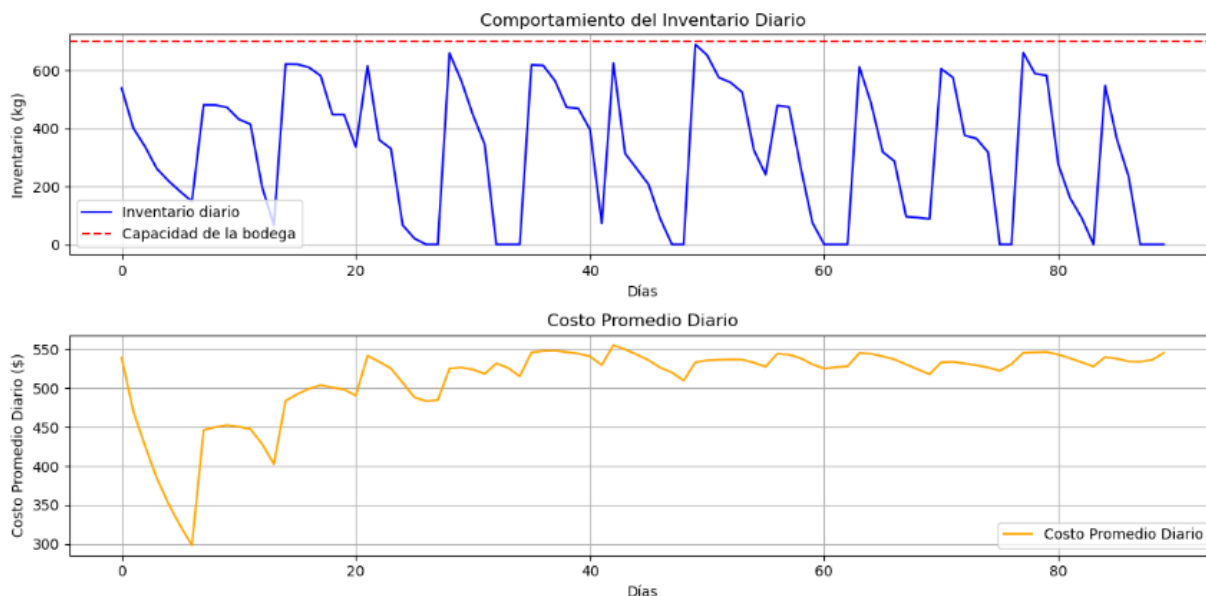


Figura 4. Visuales de la simulación en Jupyter Notebook

Después de un número determinado de réplicas, se puede analizar el impacto de diferentes estrategias de inventario en los costos operativos de la empresa.

En la etapa de verificación se simuló el comportamiento de inventarios y cálculo del costo total promedio diario a lo largo de varias réplicas. Las estadísticas descriptivas obtenidas para el costo total promedio diario, tras 5 réplicas muestran que el valor promedio fue de \$590.30, lo que indica un costo general aproximado en la simulación. La mediana, fue de \$ 575.24, refleja el valor central de los costos diarios, lo que sugiere que la mitad de los valores están por encima de este valor y la otra mitad por debajo. Los resultados se muestran en la Figura 5.

Resultados de las réplicas (Costo total promedio diario):

[622.7330309143181, 559.4327604984452, 627.0942166484178, 575.2351679038311, 567.0244279570787]

Estadísticas descriptivas:

Promedio: \$590.30

Mediana: \$575.24

Desviación estándar: \$28.73

Mínimo: \$559.43

Máximo: \$627.09

Figura 5. Estadísticas descriptivas de las réplicas.

En la fase de experimentación, se modificará la media de la demanda entrante para analizar cómo afecta el comportamiento del sistema de inventarios y los costos asociados. Al ajustar la media de la demanda, se podrá observar cómo los cambios en la cantidad de nuez solicitada por los clientes impactan el inventario diario, la frecuencia de pedidos y los costos por faltantes y mantenimiento. Este enfoque permitirá evaluar la sensibilidad del sistema ante variaciones en la demanda, ayudando a identificar estrategias más eficientes para optimizar el control de inventarios y reducir costos en diferentes escenarios.

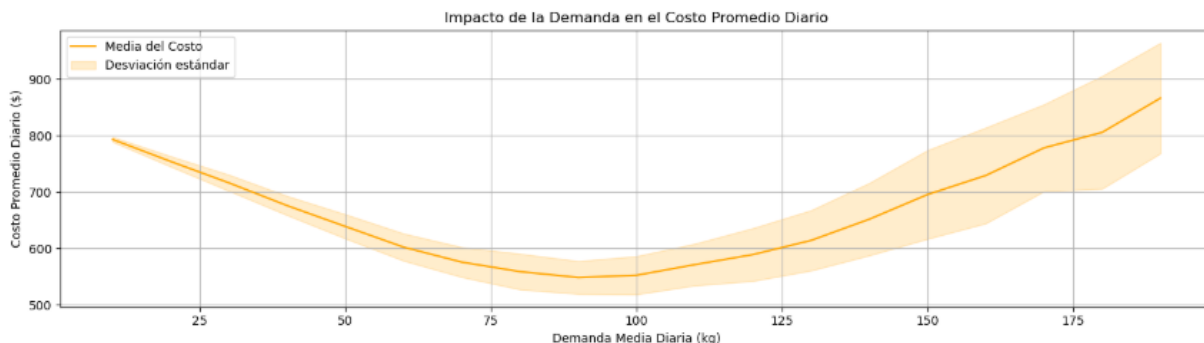


Figura 6. Gráfico de sensibilidad a la demanda variable.

En la Figura 6, según el experimento, consistió en mantener en el eje X la demanda media diaria y en el eje Y el costo promedio diario, donde se puede observar que, a medida que la demanda diaria varía, el costo promedio diario se comporta de manera no lineal, siguiendo una forma similar a una parábola, lo que permite visualizar el punto mínimo en el cual el costo suele ser el óptimo (menor), lo cual ocurre con una demanda aproximada de 100 kg./día.

Conclusiones

La simulación permitió evaluar la relevancia de diferentes factores del sistema de inventarios en los costos operativos y se considera una herramienta útil para analizar diferentes casos. Como se observó en la Figura 6, el costo promedio diario que se asocia a gestión del inventario tiene un comportamiento parabólico en relación con la demanda.

A niveles bajos de demanda, los costos aumentan debido a los costos fijos de mantener inventario y costo por faltantes. Sin embargo, al aumentar la demanda hasta un punto adecuado, los costos tienden a disminuir debido a una mejor optimización en la gestión del inventario, por otro lado, cuando la demanda supera ese nivel óptimo, los costos aumentan nuevamente debido a factores como el coste por mantener sobre inventario, arriesgándonos a nuevos costos no considerados en el modelo, como la fecha de caducidad de los productos al tratarse de inventario para el consumo.

El comportamiento indica la importancia de encontrar un equilibrio adecuado entre la demanda y los niveles de inventario, para maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos.

Contribución de Autoría

Francisco Bencomo Murga: [Investigación](#), [Software](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Rosa Ma Amaya Toral: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Administración de proyectos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Martha Patricia García Martínez: [Supervisión](#), [Curación de datos](#).

Referencias

- [1] D. Ivanov, *Global supply chain and operations management: A decision-oriented introduction to the creation of value*, 1st ed. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [2] F. W. Harris, “How many parts to make at once,” *Factory, The Magazine of Management*, vol. 10, pp. 135–136, 1913.
- [3] T. Ohno, *Toyota production system: beyond large-scale production*. Cambridge, Mass: Productivity Press, 1988.
- [4] M. Christopher, *Logistics & supply chain management*, 4th ed. Harlow: Financial Times Prentice Hall, 2011.
- [5] F. Campuzano-Bolarín, F. Marín-García, J. A. Moreno-Nicolás, M. Bogataj, and D. Bogataj, “Supply chain risk of obsolescence at simultaneous robust perturbations,” *Sustainability*, vol. 11, no. 19, p. 5484, oct 2019.
- [6] C. A. Ptak, C. Smith, and J. Orlicky, *Orlicky’s material requirements planning*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [7] F. Robert Jacobs and F. C. T. Weston, “Enterprise resource planning (erp)—a brief history,” *J of Ops Management*, vol. 25, no. 2, pp. 357–363, mar 2007.
- [8] D. F. Muñoz and D. Villafuerte, “Análisis de la entrada en simulación estocástica,” *Inf. tecnol.*, vol. 26, no. 1, pp. 13–22, 2015.
- [9] “Numpy,” <https://numpy.org/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [10] “Matplotlib — visualization with python,” <https://matplotlib.org/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [11] M. E. J. Barzola, “Desarrollo de un sistema de control de procesos de entrada y salida de productos con el uso de lenguaje de programación java,” 2015.

- [12] E. Jiménez, M. Pérez, and F. Sanz, “Modelado y simulación de sistemas logísticos y de producción mediante redes de petri.”
- [13] “¿qué es la simulación de monte carlo? - explicación de la simulación de monte carlo - aws,” <https://aws.amazon.com/es/what-is/monte-carlo-simulation/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [14] “Métodos y fórmulas para la distribuciones de probabilidad - minitab,” <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/how-to/probability-distributions/methods-and-formulas/methods-and-formulas/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [15] C. C. C. Alberto and M. M. A. Iván, “Uso y evaluación de mapas logísticos caóticos en generadores de números pseudo-aleatorios.”
- [16] M. D. C. Argüelles Arellano, “Simulation of systems with random variables for making strategic decisions,” *CyS*, vol. 27, no. 3, sep 2023.
- [17] “Jupyter notebook documentation — jupyter notebook 7.4.0b1 documentation,” <https://jupyter-notebook.readthedocs.io/en/latest/>, accedido: 17 de marzo de 2025.