

# Modelo de Optimización para medir el costo por pérdida de producto no vendido mediante Simulación Montecarlo y Algoritmo Metaheurístico Tabú

## Optimization model to measure the cost of lost product not sold through Monte Carlo Simulation and Tabu Metaheuristic Algorithm

Luis Ramos Moncayo<sup>1</sup>, Martha Marcillo Troncozo<sup>2</sup>, Dantee Astudillo Sanche<sup>3</sup>, y Lorenzo Cevallos-Torres<sup>4</sup>

### RESUMEN

En este estudio se propone la mejora de un sistema de inventarios, con el objetivo de reducir el costo y maximizar las ventas en la farmacia "La Voluntad de Dios", debido a que existe manejo empírico del inventario por parte de los bodegueros, a consecuencia de esto, no se logra satisfacer correctamente a los clientes y en ocasiones se generan pérdidas por falta de espacio en la bodega o expiración de productos. Por este motivo se decidió optimizar la gestión inventario aplicando el algoritmo de búsqueda tabú obteniendo una función objetivo basada en distribuciones de probabilidad normal de 3 productos, para esto se toma muestra del histórico de inventario del año 2017 al 2019, se realizó una proyección de ventas para el año 2020; el dando como resultado un 14% más de ganancia con respecto al año 2019 y un sistema de inventario que proyecta el uso aproximado del 95% de los productos en stock, obteniendo valores óptimos para satisfacer la alta demanda y mantener control del inventario.

**Palabras clave:** Distribución Normal, VBA, Simulación, Inventario, Búsqueda Tabú.

### ABSTRACT

This study proposes the improvement of an inventory system, with the objective of reducing the cost and maximizing sales in the pharmacy "The Will of God", because there is empirical management of the inventory by the winemakers, as a result of this, it is not possible to satisfy the customers correctly and sometimes losses are generated due to lack of space in the warehouse or expiration of products. For this reason it was decided to optimize the inventory management by applying the taboo search algorithm obtaining an objective function based on normal probability distributions of 3 products, for this sample of the inventory history from 2017 to 2019 is taken, a sales projection was made for the year 2020; The result is a 14% more profit compared to the year 2019 and an inventory system that projects the approximate use of 95% of the products in stock, obtaining optimal values to meet high demand and maintain inventory control.

**Keywords:** Normal Distribution, VBA, Simulation, Inventory, Taboo Search.

**Fecha de recepción:** Mayo 20, 2019.

**Fecha de aceptación:** Septiembre 5, 2019.

### Introducción

En este proyecto se plantea como importancia la necesidad de solucionar la gestión y control de inventarios de la farmacia "La Voluntad de Dios", para que obtengan mayores beneficios y menores costos. El problema que afecta a la gestión y control del inventario se da por la forma empírica de manejo del inventario por parte del personal encargado de bodega, esto conlleva a que la farmacia tenga pérdidas económicas por no saber el momento y la cantidad justa de reabastecer su inventario.

Para gestionar y controlar los inventarios de algunas empresas, se han propuesto diferentes proyectos como el de Romero [1] que propone un algoritmo heurístico basado en listas tabú para optimizar la planificación del inventario en sistemas multinivel; el autor toma como variables relevantes: la capacidad, listas de materiales alternativas y entornos de coproducción, dando como resultado un 10% a 17% más de rotación con respecto a las soluciones óptimas de mayor tamaño, sin embargo, presenta inconvenientes de tiempo en las soluciones de problemas que eran relativamente pequeños tales como el pronóstico de ventas, lo que se optimiza en este proyecto al obtener una proyección más amplia y precisa de las ventas combinando la resolución del algoritmo metaheurístico

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Universidad de Guayaquil, Ecuador. E-mail: [luis.ramosm@ug.edu.ec](mailto:luis.ramosm@ug.edu.ec)

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Universidad de Guayaquil, Ecuador. E-mail: [martha.marcillot@ug.edu.ec](mailto:martha.marcillot@ug.edu.ec)

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Universidad de Guayaquil, Ecuador. E-mail: [dantee.astudillos@ug.edu.ec](mailto:dantee.astudillos@ug.edu.ec)

<sup>4</sup> Ing. en Estadística Informática, MSc. en Modelado Computacional en Ingeniería. Universidad de Guayaquil, Ecuador. E-mail: [lorenzo.cevallost@ug.edu.ec](mailto:lorenzo.cevallost@ug.edu.ec)

**Como citar:** Ramos Moncayo, L., Marcillo Troncozo, M., Astudillo Sanchez, D., & Cevallos-Torres, L. (2019). Modelo de Optimización para medir el costo por pérdida de producto no vendido mediante Simulación Montecarlo y Algoritmo Metaheurístico Tabú. *Ecuadorian Science*, 3(2), 8-14.  
DOI: <https://doi.org/10.26911/issn.2602-8077vol3iss2.2019pp8-14p>.

Tabú y la distribución de probabilidad realizada en base a un historial de ventas.

En el estudio de Rodríguez en [2] y el trabajo [3], se presentan modelos de Cantidad Económica de Pedido (EOQ) con objeto de sistematizar el abastecimiento periódico de los productos en stock aplicando un proceso basado en el método ABC, dando como resultado el establecimiento de cantidades óptimas de pedidos y los días en los cuales se debe abastecer; y la aplicación de un modelo determinístico de demanda continua con la finalidad de lograr una minimización de costos de mantenimiento de inventario para la empresa DEPRATI. No obstante, este modelo prueba que los bajos costos serán visibles a un largo plazo además del uso complejo de algoritmos cuyo entendimiento requiere más preparación, en cambio, este estudio propone un enfoque a modelos heurísticos conocidos, en estos se visualiza una reducción de costos en un corto a mediano plazo, y valores más precisos.

En el estudio de Arango, et al. en [4] plantea un modelo probabilístico de inventarios por demanda, a partir de pronósticos de ventas obtenidos por el método Holt-Winters que incluye modulación exponencial, tendencia y estacionalidad, con el fin de minimizar el capital invertido en inventarios tomando como limitación principal el cumplimiento de niveles de servicio establecidos por política de la empresa, obteniendo como resultado un valor aproximado de la demanda, evitando la realización de pedidos de inventarios innecesarios. En el método Holt-Winters determina la demanda de un producto en un periodo dado de forma empírica, en el cual los resultados tienden a dar error, a diferencia de la metodología que se presenta en este estudio, donde se utiliza distribuciones probabilísticas que permiten observar datos a futuros ayudando a prevenir inconveniente a largo plazo y además obtener resultados óptimos a las personas encargadas de llevar la administración de la empresa.

En el estudio de Perales en [5] Propone una modificación para mejorar el desempeño de un modelo lineal dinámico para pronósticos y un modelo de inventarios, aplicando una técnica de optimización multiperíodo vía simulación, a partir del diseño de una variación a la metaheurística búsqueda tabú, es una heurística que realiza una búsqueda de lo óptimo de una función objetivo en un modelo de programación lineal o no lineal, obteniendo como resultado la minimización de costos y su alta eficiencia para la mejora del manejo de los inventarios, sin embargo, el estudio está ambientado a un punto de vista de control de calidad, más no a un lugar en específico por lo cual se mejorará su uso en la vida real.

En el artículo de Delgado en [6] se observó que las decisiones descentralizadas de inventario eran inadecuadas provocando baja rotación y aumento de costo por producto no vendido, por lo que se desarrolló una simulación de políticas de inventarios mediante el método de Montecarlo tomando como variables relevantes: producto, cliente y costo de abastecimiento; presentando como resultado, ahorros del 20% al 75% frente a las estrategias anteriores. Sin embargo, los tiempos de respuestas son altos y falta de precisión, en contraste con este estudio que presenta una proyección mediante el uso de algoritmo metaheurístico Tabú basado en una distribución de probabilidad lo que permite disminuir el tiempo de respuesta y obtener una simulación de inventario altamente precisa como óptima.

La estructura del presente trabajo es la siguiente: sección 2: Metodología, muestra los materiales, métodos y fórmulas utilizadas para realizar la simulación y obtención de la base de datos a utilizar; sección 3: Análisis de Datos y Resultados, en el cual se describe, analiza y exterioriza los resultados obtenidos de la

simulación mediante el procedimiento especial de la Distribución Normal; por último, se presenta la sección 4: Conclusión, en la cual se encuentra la conclusión del estudio realizado.

## Metodología

En el presente estudio se toman los productos Enalapril, Altace y Losartán, los cuales presentan alta demanda, en consecuencia, existen días que no se venden dichos productos por falta stock, cuya solución al problema permite a la empresa obtener un sistema de inventarios óptimo y automatizado, y para alcanzar este objetivo, se realiza mediante:

### Inventarios

Son procesos que tienen el objetivo de mantener un control sobre la mercancía en el curso, que mediante una gestión de inventarios se logra la reducción de costos manteniendo los ingresos. Conociendo que la farmacia maneja un inventario de manera empírica, este presenta problemas de stock por la alta demanda de sus productos, por lo cual la empresa brinda los movimientos de inventarios del año 2017 al 2019, permitiendo así tener un histórico amplio poder realizar procesos probabilísticos con menor margen de error [7] [8].

Como se observa en la Tabla 1, se presenta el histórico del producto enalapril este histórico permite la obtención de la distribución de probabilidad que presenta la demanda de este producto.

En la Tabla No. 2 se puede observar el movimiento de inventario del producto Altace en el cual mediante el histórico de esos años se podrá obtener la distribución de probabilidad que tiene el producto en su demanda para su proyección mediante el algoritmo metaheurístico.

Y en la Tabla No. 3 se presenta el último producto a verificar su distribución de probabilidad para así tener los datos necesarios para poder generar una proyección lo más a la realidad y de esta manera lograr optimizar la rotación de inventario.

### Método de Montecarlo por Distribución Normal Probabilística

Se utiliza como herramienta de simulación el método de Monte Carlo, que permite la simulación de un sistema cuando presenta elementos de naturaleza aleatoria en su comportamiento, esta facultad facilita la proyección de las ventas, no obstante, la precisión se pierde al por ser completamente aleatorio por lo cual se propone utilizar la distribución normal probabilística, herramienta que logra obtener cálculos probabilísticos precisos, en conjunto con el método Montecarlo dando como resultado una proyección con menor margen de error [9] [10] [11].

Se adapta la siguiente fórmula de la Distribución Normal que se aplicado en el algoritmo Búsqueda Tabú, según Cevallos en [12]:

$$f(x) = \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) * e^{-1/2(x-\mu/\sigma)^2}$$

Esta distribución permite obtener la demanda de un día de venta por lo cual hay que despejar la  $x$  y tomarla entorno a  $n$  por lo cual se muestra lo siguiente formulas:

$$\mu = \frac{n}{2}$$

**Tabla 1. Movimiento de Inventario del 2017-2019 del Enalapril**

Mes	Enalapril								
	2017			2018			2019		
	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin
Enero	400	324	76	388	321	67	464	413	51
Febrero	396	322	74	467	418	49	371	274	97
Marzo	474	432	42	449	379	70	417	348	69
Abril	442	435	7	470	416	54	389	354	35
Mayo	487	421	66	454	401	53	435	385	50
Junio	466	383	83	533	464	69	610	534	76
Julio	403	319	84	469	421	48	396	326	70
Agosto	404	323	81	448	377	71	470	401	69
Septiembre	401	370	31	391	364	27	469	448	21
Octubre	511	491	20	427	365	62	421	388	33
Noviembre	420	400	20	382	305	77	513	420	93
Diciembre	500	432	68	557	493	64	333	310	23
Total	5304	4652	652	5435	4724	711	5288	4601	687

**Tabla 2. Movimiento de Inventario del 2017-2019 del Altace**

Mes	Altace								
	2017			2018			2019		
	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin
Enero	352	310	42	331	290	41	319	329	-10
Febrero	350	300	60	349	288	61	342	319	23
Marzo	358	301	58	325	278	47	331	293	38
Abril	321	301	20	355	301	54	346	271	75
Mayo	328	306	27	318	297	21	339	290	49
Junio	330	282	72	329	288	41	357	267	90
Julio	356	301	74	349	303	46	354	259	95
Agosto	319	299	22	354	287	67	359	275	84
Septiembre	328	303	29	331	310	21	348	314	34
Octubre	333	308	30	329	315	14	342	296	46
Noviembre	333	304	33	322	286	36	354	281	73
Diciembre	337	314	33	344	289	55	337	320	17
Total	4045	3629	416	4036	3532	504	4128	3514	614

**Tabla 3. Movimiento de Inventario del 2017-2019 del Losartán**

Mes	Losartán								
	2017			2018			2019		
	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin	Inv_Ini	Demanda	Inv_Fin
Enero	425	406	19	494	404	90	435	394	41
Febrero	529	430	99	430	340	90	466	390	76
Marzo	439	371	68	430	375	55	416	390	26
Abril	408	364	44	480	409	71	451	385	66
Mayo	469	390	79	411	388	23	406	386	20
Junio	504	418	86	448	423	25	445	383	62
Julio	511	440	71	450	375	75	402	383	19
Agosto	411	367	44	415	379	36	444	397	47
Septiembre	469	419	50	461	383	78	472	419	53
Octubre	475	405	70	503	415	88	478	423	55
Noviembre	495	422	73	428	390	38	395	359	36
Diciembre	498	429	69	463	368	95	461	388	73
Total	5633	4861	772	5413	4649	764	5271	4697	574

$$\sigma = \sqrt{\frac{n}{12}}$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Ri - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{12}}}$$

La media y la desviación estándar tiene la fórmula dedicada para varios valores así mismo el cálculo de los números aleatorios, por lo tanto, el valor de  $x$  queda de la siguiente forma:

$$x = \mu + \sigma (Z)$$

Donde:

- $x$  = dominio  $(0, \infty)$
- $\mu$  = media
- $\sigma$  = desviación estándar.
- $Z$  = valores pseudo aleatorios.
- $n$  = cantidad de datos aleatorios.

Para aplicar el algoritmo de Montecarlo se debe conocer la fórmula de la distribución normal como se muestra en fórmulas (1-5), como un ejemplo práctico se toma la media de cada producto en este caso el Enalapril, cuyo valor es igual a 10.8 por cuestiones de ser un producto se la redondea a 11, y la desviación estándar de 5.2, con estos datos serán la base para realizar los cálculos de la distribución normal probabilística y mediante la sumatoria de 12 números aleatorios, se puede obtener la demanda por día de los productos dentro de un mes, con ello se lo ingresa en un ciclo for y se simula el movimiento de ventas de todo un año [19] (ver Algoritmo 1).

---

#### Algoritmo1 MonteCarlo()

---

```

mean, desviation ← parameters received
x←0
ri←0
acu←0
for i←0 to 12
  Range("aaal").FormulR1C1 ← "RAND( )"
  ri←Range("aaal").Value
  acu←acu + ri
next i
x← (mean + desviation) * (acu-6)
if x < 0 then
  x← x * (-1)
end if
return x

```

---

#### Búsqueda Tabú

Para la proyección de ventas del año 2020 se utiliza la búsqueda tabú por motivos que acoge una estrategia específica que permite escapar de un mínimo local y seguir con la búsqueda por otras soluciones probabilísticamente mejores. Por lo que mediante la solución objetivo (fórmula 6) se puede realizar una proyección de las demandas, cual es la primera variable de cada suma, para la obtención de esas variables se aplica el algoritmo de Montecarlo (Algoritmo 1), las restricciones que presentan son los movimientos de inventario de cada producto, es decir que cuando llegue a un valor en stock se pide abastecimiento y mediante la memoria adaptativa que presenta la búsqueda tabú se contrasta con las ganancias obtenidas en los años anteriores. La ventaja de utilizar este algoritmo es que permite una alta adaptación y optimización de la solución objetivo [11] [12].

---

#### Algoritmo 2 BúsquedaTabu()

---

```

avgAnnualDemand_enalapril ← 388
avgAnnualDemand_losartan ← 396
avgAnnualDemand_altace ← 296
p1_m, p2_m, p3_m←0
deviaton_enalapril ← 5.2
deviaton_losartan ← 4.87
deviaton_altace ←3.8
mean_enalapril←11
mean_losartan←13
mean_altace←10
For i ← 0 to 12
p1_m←monthly_form(mean_enalapril, desvia-
tion_enalapril)
p2_m← monthly_form (mean_losartan , desviation_
losartan)
p3_m← monthly_form (mean_altace , desviation_
altace)
While p1_m < avgAnnualDemand_enalapril
Hacer p1_m← monthly_form (mean_enalapril ,
desviation_enalapril)
End While
While p2_m < avgAnnualDemand_losartan
Hacer p2_mes← monthly_form (mean_losartan,
desviation_losartan)
End While
While p3_m < avgAnnualDemand_altace
Do p3_m← monthly_form (mean_altace, desviation_
altace)
End While
Range("B" & (i + 4)).Value = "" & p1_m
Range("B" & (i + 23)).Value = "" &
p2_m
Range("O" & (i + 4)).Value = "" &
p3_m
End

```

---

## Modelo de Optimización de Inventario

### Herramienta Solver

Es una herramienta que se encuentra presente en las hojas de cálculo, como son Excel y OpenOffice.org. Permite que los modelos sometidos a restricciones obtener soluciones óptimas, por lo que en el presente estudio se lo utiliza para tener un contraste y/o comprobación de la optimización generada por el algoritmo realizado en Excel [15].

### Programación Lineal

En la programación lineal su objetivo es optimizar funciones lineales en distintas variables reales con restricciones lineales, para plantear un caso de estudio aplicado a la programación lineal es importante conocer los componentes básicos, los cuales son: variables de decisión, función objetivo y restricciones. La programación lineal asigna recursos entre actividades competidoras elaborando un proceso de toma de decisiones para encontrar una posible solución relacionando requerimientos y disponibilidad de recursos [16].

### Función Objetivo

Como se observa en el estudio de Cevallos, et al. en [17] presenta la fórmula para obtener la función objetivo son las siguientes:

$$F.O.: MaxZ = \sum_{i=1}^{i=N} f_i X_i$$

$$F.O.: MinZ = \sum_{i=1}^{i=N} f_i X_i$$

Donde:

$f_i$  = coeficientes son relativamente iguales a cero

$X_i$  = números reales mayores o iguales a cero

Es decir:

$$z = f_1 X_1 + f_2 X_2 + \dots + f_n X_n$$

Por lo cual se en este estudio se necesita maximizar beneficios y minimizar costos se estará utilizando ambos formulas para aplicarlas y comparar como optimiza el algoritmo en contraste a otros años [18].

Restricciones

$$A_j = \sum_{i=1}^{i=N} a_{i,j} X_i$$

$$B_j \leq \sum_{i=1}^{i=N} b_{i,j} X_i$$

$$C_j \geq \sum_{i=1}^{i=N} c_{i,j} X_i$$

Donde:

- A** = valor conocido a ser respetado estrictamente
- B** = valor conocido que debe ser respetado o puede ser superado;
- C** = valor conocido que no debe ser superado
- j** = número de la ecuación, variable de 1 a M (no. Total de restricciones)

## Caso de Estudio

La empresa “Voluntad de Dios” ha llevado años teniendo un manejo empírico de su inventario, el cual presenta una cantidad variable de productos en stock, a consecuencia de esto, no se logra satisfacer correctamente a los clientes y en ocasiones se generan pérdidas por falta de espacio en la bodega o expiración de productos, por lo cual desea optimizar el modelo de inventario que lleva actualmente de los productos: Enalapril, Losartán y Altace.

Para el análisis del sistema de inventario que lleva actualmente la farmacia, se toman como variables relevantes: la cantidad de productos pedidos anualmente, la demanda y la cantidad sobrante de

producto que no se ha vendido dentro del año 2017 al 2019. Y se puede observar que presenta menos del 1% de producto sobrantes cada año dando como resultado lo ajustado en que el inventario está en frente a la demanda (ver Tabla No. 1, 2, 3).

**Tabla 4. Resumen del Histórico de ventas del producto Enalapril**

Enalapril			
Año\Movimiento	Inventario	Demanda	Producto Sobrante
2017	5259	4652	607
2018	5276	4724	552
2019	5259	4601	658

Se observa que el producto enalapril tiene un 0,1% de sobrante de su stock, es decir que ese fue producto no vendido, el mismo que se desea optimizar.

**Tabla 5. Resumen del Histórico del producto Altace**

Altace			
Año\Movimiento	Inventario	Demanda	Inventario Final
2017	4045	3629	500
2018	4036	3532	504
2019	4128	3514	614

Se observa en la Tabla No.5 el movimiento de inventario y demanda del Altace que presenta el mismo sobrante que el observado en la Tabla No.1.

**Tabla 6. Resumen del Histórico del producto Losartán**

Losartán			
Año\Movimiento	Inventario	Demanda	Producto Sobrante
2017	5381	4861	520
2018	5124	4649	475
2019	5156	4697	459

En la Tabla No. 6 se aprecia el movimiento de inventario y demanda del producto Losartán, el mismo que presenta el mismo problema que los productos anteriores por lo que se toman estos 3 productos para su evaluación de problema y su futura optimización.

## Resultados

### Aplicación del modelo de inventario en base al Algoritmo Tabú

Con la información obtenida por los históricos del año 2017 al 2019, es posible realizar una proyección de ventas para el año 2020. En la tabla presenta el precio de ventas, costos y beneficios de cada producto por mes de forma que se pueda observar de manera global los ingresos por ventas proyectadas, con ello tener un método de optimización de inventario conociendo las demandas del siguiente año (ver tabla No.7, 8, 9).

**Tabla 7. Proyección de Ventas del Producto Enalapril para el año 2020**

Enalapril			
-----------	--	--	--

Mes	Demanda	Precio Venta	Costo	Beneficio
ENERO	507	2535	2281,5	253,5
FEBRERO	490	2450	2205	245
MARZO	472	2360	2124	236
ABRIL	407	2035	1831,5	203,5
MAYO	423	2115	1903,5	211,5
JUNIO	389	1945	1750,5	194,5
JULIO	409	2045	1840,5	204,5
AGOSTO	393	1965	1768,5	196,5
SEPTIEMBRE	399	1995	1795,5	199,5
OCTUBRE	436	2180	1962	218
NOVIEMBRE	498	2490	2241	249
DICIEMBRE	460	2300	2070	230
Total	5283	26415	23774	2641,5

Tabla 8. Proyección de Ventas del Producto Losartán para el año 2020

Losartán				
Mes	Demanda	Precio Venta	Costo	Beneficio
ENERO	481	2020,2	1683,5	336,7
FEBRERO	437	1835,4	1529,5	305,9
MARZO	444	1864,8	1554	310,8
ABRIL	434	1822,8	1519	303,8
MAYO	491	2062,2	1718,5	343,7
JUNIO	468	1965,6	1638	327,6
JULIO	397	1667,4	1389,5	277,9
AGOSTO	466	1957,2	1631	326,2
SEPTIEMBRE	419	1759,8	1466,5	293,3
OCTUBRE	400	1680	1400	280
NOVIEMBRE	493	2070,6	1725,5	345,1
DICIEMBRE	512	2150,4	1792	358,4
Total	5442	22856,4	19047	3809,4

Tabla 9. Proyección de Ventas del Producto Altace para el año 2020

Altace				
Mes	Demanda	Precio Venta	Costo	Beneficio
ENERO	372	2142,72	1934,4	208,32
FEBRERO	368	2119,68	1913,6	206,08
MARZO	363	2090,88	1887,6	203,28
ABRIL	403	2321,28	2095,6	225,68
MAYO	353	2033,28	1835,6	197,68
JUNIO	330	1900,8	1716	184,8
JULIO	338	1946,88	1757,6	189,28
AGOSTO	345	1987,2	1794	193,2
SEPTIEMBRE	311	1791,36	1617,2	174,16
OCTUBRE	311	1791,36	1617,2	174,16
NOVIEMBRE	328	1889,28	1705,6	183,68
DICIEMBRE	346	1992,96	1799,2	193,76
Total	4168	24007,68	21673,6	2334,08

### Función Objetivo Aplicada con su respectiva restricción

Las variables usadas para la optimización de la función objetivo, la cual minimizara costos son:

$$Z = 425W + 439X + 342Y$$

Donde:

**W** = Costos del producto Enalapril.

**X** = Costos del producto Losartán.

**Y** = Costos del producto Altace.

**Z** = función Objetivo a minimizar

Tabla 10. Variables antes de la aplicación de Solver

VARIABLES ANTES	
<b>W</b>	4,5
<b>X</b>	3,5
<b>Y</b>	5,2
<b>Z</b>	5227,4

En la Tabla No.10 se observa los valores de las variables W, X, Y, cuáles son los valores de los costos de los productos, en adición y el valor de Z (función objetivo a minimizar).

### Restricciones

4. En esta sección se define las restricciones que la función objetivo debe que cumplir para lograr la minimización de costos (ver tabla 11).

Tabla 11. Restricciones para la aplicación de Solver

RESTRICCIONES	
1	$W < 4$
2	$X < 3$
3	$Y < 5$
4	$W, X, Y > 0$

En la Tabla No.11 Se presenta 4 restricciones que la función objetivo debe respetar, las 3 primeras plantea que costos no supere lo que el proveedor esté dispuesto a negociar, y la última es la restricción de no negatividad.

### Resultados obtenidos aplicando la herramienta Solver

Se aplicó la herramienta Solver con los datos presentados en la Tabla No.10 y No.11 mostrando los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultados Obtenidos con la aplicación de Solver

Solver	
<b>W</b>	4
<b>X</b>	3
<b>Y</b>	5
<b>Z</b>	4727

Mediante la utilización de Solver se logra obtener un 9,15% de minimización de costo aplicando las variables como se presenta en la Tabla No.12, con ello se puede observar que la herramienta Solver permite también obtener variables que permita minimizar los costos a través de la especificación de restricciones.

### Resultados en Maximización de Beneficios mediante la proyección por Búsqueda Tabú

Las ganancias totales por los 3 productos se logran obtener mediante la fórmula 6 que permite contrastar las ventas de cada año y analizar como la proyección del 2020 muestra una relevante mejora en los beneficios (ver Tabla No.7).

**Tabla 13. Beneficios por año**

Beneficios por año	
Año	Ganancia
2017	7760,94
2018	7594,22
2019	7556,24
2020	8784,98

Como se puede observar en la Tabla No. 13, la proyección de ventas presenta un 14% más de ganancia con respecto a los 3 años las ganancias cuales mantienen un rango similar, por lo que se puede determinar que se ha maximizado beneficios.

## Conclusiones

En el estudio se concluye con la efectividad del algoritmo metaheurístico Tabú para la proyección precisa de movimientos de ventas permitiendo la optimización en la gestión de inventario, obteniendo como resultado un 14% más de ganancia neta con respecto a al año 2019, estableciendo un sistema de inventario que proyecta el uso aproximado del 95% de los productos en stock, a través de la herramienta Solver de Excel se logró minimizar costos en un 9,15% de los productos ofrecidos.

En futuros estudios con relación esta temática, se recomiendan estudios de proyección de ventas para más de un año y con otras herramientas de programación como Python, modelo de un inventario completo, gestión de inventarios con demanda variable conocida y modelos de programación lineal basado en proyección de ventas, con el objetivo de tener varias herramientas que le permita a la farmacia optimizar en mayor medida el tiempo de pedido y la cantidad que pedir.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Ing. Alfonso, R. Romero, U. D. E. La, C. Cuc, I. N. G. Alfonso, and R. Romero, "ALGORITMO HEURÍSTICO BASADO EN LISTAS TABÚ PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN SISTEMAS MULTINIVEL CON LISTAS DE MATERIALES ALTERNATIVAS Y ENTORNOS DE COPRODUCCIÓN," *CUC*, p. 141, 2018.
- [2] E. Causado Rodríguez, "Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos," *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 14, no. 27, pp. 163–178, 2015.
- [3] H. H. Toro and J. J. Bravo, "Enfoque Práctico Para La Determinación De Políticas De Inventario Centralizadas En Un Sistema I-Bodega / N-Minoristas a Través De Simulación / Optimización a Practical Approach To Develop Centralized Inventory Policies for I-Warehouse / N-Retailers System," *EIA*, pp. 31–41, 2018.
- [4] J. Arango, J. Giraldo, and O. Castrillón, "Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación del nivel de servicio por clasificación ABC," *Sci. Tech.*, vol. 18, no. 4, pp. 743–747, 2013.
- [5] P. Luis, E. Blanco, R. Ingeniero, and E. R. Motta, "Simulación Del Mrpii En El Sector Farmacéutico Colombiano," no. 001, pp. 8–10, 2005.
- [6] C. G. L. Alexander, "Unidad académica de ciencias empresariales carrera de contabilidad y auditoría," *Utmach*, vol. 4, pp. 1194–1215, 2018.
- [7] J. A. Fuertes, "Métodos, técnicas y sistemas de valuación de inventarios. Un enfoque global," pp. 48–65, 2019.
- [8] O. Peña and R. Da Silva Oliveira, "Factores incidentes sobre la gestión de sistemas de inventario en organizaciones venezolanas," *Telos Rev. Estud. Interdiscip. en Ciencias Soc.*, vol. 18, no. 2, pp. 187–207, 2016.
- [9] J. L. Chamorro Corea, J. E. Díaz Camejo, O. D. Fuentes Espinoza, and H. Y. Lovo Gutiérrez, "Política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministro multinivel. Caso de estudio: una empresa de distribución farmacéutica (Artículo Profesional)," *Nexo Rev. Científica*, vol. 31, no. 2, pp. 144–156, 2018.
- [10] F. L. Sánchez Ibarbo, "Aproximación al Origen de la Distribución Normal vía Probabilidad," vol. 5.
- [11] Cevallos-Torres, Lorenzo & Miguel Botto-Tobar *Studies in Computational Intelligence 824 Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation*. Rev. Didasc@lia Didáctica y Educ. ISSN 2224-2643, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, 2016.
- [12] Cevallos-Torres, Lorenzo & Guijarro-Rodríguez, Alfonso, Pedro Manuel García Arias I, Pierre Chávez I and R. S. Jessica Rebutti I, *Aplicación del Método Montecarlo y Análisis por Teoría de Colas para Reducir el Tiempo de Espera en una Farmacia*, no. Cinesi. 2017.
- [13] E. P. D. E. Estadística, B. Illtner, and K. Chavez, "Una Búsqueda Tabú para el problema de entrega de productos de la empresa Almapo en la ciudad de Trujillo," 2017.
- [14] E. Coletti Romero and A. C. Riojas Cañari, "Balance de línea de producción en una empresa de calzado mediante la metaheurística búsqueda tabú," *Rev. Peru. Comput. y Sist.*, vol. 1, no. 1, p. 9, 2018.
- [15] L. C. Sanchez and J. Herrera, "Solution to the multiple products transportation problem: Linear programming optimization with Excel Solver," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 2, pp. 1018–1023, 2016.
- [16] E. Castillo, A. J. Conejo, P. Pedregal, R. García, and N. Alguacil, "Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencias," p. 553, 2002.
- [17] Cevallos-Torres, Lorenzo & Torres, C, "Relación Teoría-Práctica Para La Investigación De Operaciones: Caso Práctico En Modelos De Programación Lineal," *Rev. Didasc@lia Didáctica y Educ. ISSN 2224-2643*, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, 2016.
- [18] Cevallos-Torres, Lorenzo, & Miguel Botto-Tobar. "Pseudo-random numbers and congruential methods." *Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation*. Springer, Cham, 2019. 33-58.
- [19] Cevallos-Torres, Lorenzo, and Miguel Botto-Tobar. *Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation*. Vol. 824. Springer, 2019.