MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN Y COMBINACIÓN DE TAMAÑOS DE LOTE.

Pablo Gabriel Morales Sanchez[1]; Franco Adrián Garino[1]; Margarita Miguelina Mieras [1], Fabricio Orlando Sánchez Varretti[1]

[1]Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael. Grupo SiCo. Gral. Urquiza 314, 5600, San Rafael, Mendoza, Argentina. / pabloomorales9@gmail.com.

Resumen: En el actual contexto empresarial, la eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad son objetivos fundamentales para las empresas. La optimización de las actividades logísticas, especialmente la gestión de inventarios se ha convertido en una estrategia esencial para reducir costos mediante la administración eficiente de materias primas y su distribución. Un aspecto crucial es el análisis de los tamaños de lote en los pedidos, dado que impacta directamente en la capacidad de satisfacer las necesidades de producción. La investigación de esta dinámica resulta relevante para abordar los desafíos actuales y alcanzar una mayor eficacia operativa. La gestión adecuada de inventarios presenta un desafío constante para ingenieros y analistas, ya que el equilibrio entre excesos y faltantes tiene un efecto significativo en las operaciones y en la satisfacción del cliente. En este trabajo, se presenta un modelo teórico que permite reducir la complejidad de los datos relacionados con el dimensionamiento de lotes. Además, el modelo ofrece la posibilidad de explorar combinaciones alternativas de tamaños de lote que, aunque no sean las óptimas en términos de costos, cumplen con diversas restricciones operativas, tales como situaciones imprevistas o demoras de proveedores. Esta flexibilidad en la toma de decisiones puede mejorar de manera significativa la capacidad operativa de la empresa.

Palabras claves: Inventarios – Optimización – Logística – Lotes – Eficiencia.

INTRODUCCIÓN

La optimización es el proceso de desarrollar una actividad de la manera más eficiente posible, es decir, utilizando la menor cantidad de recursos y en el menor tiempo. Al optimizar los procesos, se pueden identificar fácilmente los desperdicios. Esto permite detectar cuellos de botella que comprometen la productividad, fallos y el uso ineficiente de los recursos, lo que facilita la resolución de estos problemas y de posibles fallas emergentes.

La gestión y optimización de procesos son pilares fundamentales para la transformación de las empresas, especialmente en los últimos años, donde se ha priorizado una dinámica ágil en la gestión de la cadena de suministro global. A partir de esta premisa, el proyecto adquiere relevancia, ya que tiene el potencial de generar beneficios tangibles al mejorar la eficiencia, reducir costos y contribuir a la sostenibilidad de las operaciones empresariales mediante el análisis de un tema complejo: el abastecimiento de materiales. Este problema es común en cualquier empresa del sector industrial, comercial o de servicios, que de alguna forma gestionan la adquisición de materias primas, componentes, repuestos o insumos (Ballou, 2004; Heizer y Render, 2004; Holmström y Romme, 2012).

Considerando desarrollos anteriores propios donde se analizan todas las estrategias de abastecimiento posibles (Tobares et al., 2017; Tobares et al., 2021) y la información recopilada sobre la temática, optamos por formular un enfoque innovador y práctico para abordar la complejidad de la gestión de aprovisionamiento de materiales a través de modelos probabilísticos, identificando patrones de comportamiento entre grupos y tamaños de pedido.

Nuestra meta es identificar de manera eficiente el tamaño ideal de los pedidos, lo que conlleva una reducción en el uso de recursos tecnológicos y el esfuerzo humano, contribuyendo así al éxito de las organizaciones regionales en la toma de decisiones.

DESARROLLO

La programación del código en Python fue un componente clave de este proyecto. Se implementó un script diseñado para la manipulación y análisis de datos tabulares, que incluyó funciones específicas para la filtración y reducción de posibles combinaciones de variables, optimizando así el manejo de grandes volúmenes de datos.

Asimismo, se procedió a la construcción y optimización de tablas de pedidos con el fin de minimizar costos. Estas tablas fueron diseñadas para identificar y seleccionar las opciones que ofrecen un balance óptimo entre costo de pedido y almacenamiento. El modelo desarrollado permite evaluar múltiples escenarios, lo que facilita la determinación de la combinación más costo-efectiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

El problema de definir el tamaño óptimo del lote de pedido es recurrente y notablemente complejo en la planificación de la producción. Esta complejidad surge de la necesidad de considerar múltiples factores, como los tiempos de entrega, la capacidad de almacenamiento, las distancias, y los descuentos aplicables, entre otros.

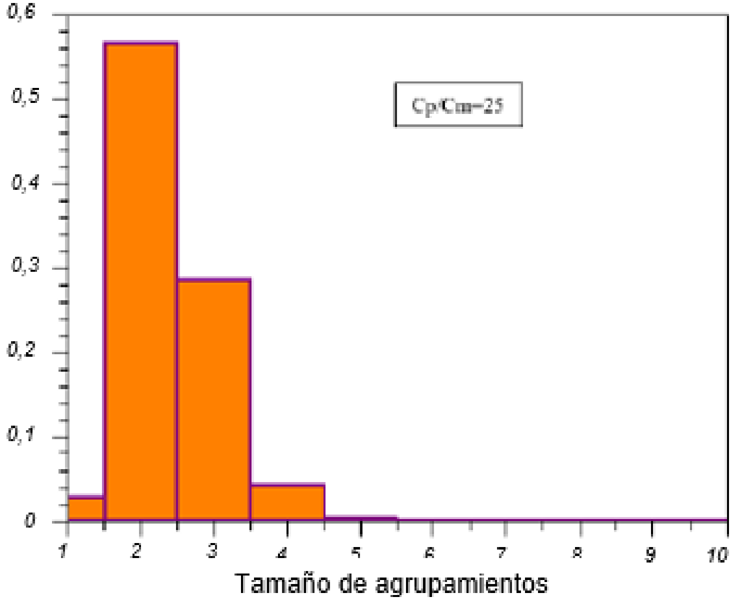
Dentro de las múltiples maneras de realizar pedidos en un sistema de tamaño dado (con la restricción de que la suma total de los tamaños de los pedidos sea igual al tamaño del sistema), existe una combinación específica que minimiza el costo total.

Por ejemplo, en un sistema con un horizonte de planificación de 5 periodos (N= 5), existen $2^{(N-1)} = 2^{(5-1)}$ =16 posibles formas de realizar los pedidos (Hopp y Spearman, 2011). Habitualmente, se analizan estas 16 combinaciones para determinar cuál es la que genera el menor costo.

Sin embargo, este procedimiento se vuelve engorroso cuando N = 12, y extremadamente complejo para N=30, donde las combinaciones posibles superan los 500 millones. Investigaciones previas (Tobares et al., 2021) han demostrado que, bajo una relación de costos de 25 entre el costo de pedido y el costo de mantenimiento, las combinaciones que resultan en un costo total mínimo tienden a agrupar los pedidos en clústeres de 2 a 3 periodos. Es decir, las combinaciones óptimas se alcanzan cuando los pedidos se concentran principalmente en intervalos de 2 o 3 periodos (Figura 1).

Figura 1

Histograma de frecuencias de tamaños de agrupamiento para una relación de costos igual a 25



Al considerar las combinaciones con dichos grupos en un tamaño de sistema N = 5, el tiempo de procesamiento de la tabla se reduce a $\frac{1}{8}$, dado que solo hay dos combinaciones que tienen 2 ($n2$) y 3 periodos agrupados ($n3$) de los dieciséis totales (Tabla 1).

Tabla 1

Combinaciones de pedido para un sistema de tamaño =5 donde se resaltan las dos opciones analizadas

	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	0
3	1	1	2	0	1
4	1	1	3	0	0
5	1	2	0	1	1
6	1	2	0	2	0
7	1	3	0	0	1
8	1	4	0	0	0
9	2	0	1	1	1
10	2	0	1	2	0
11	2	0	2	0	1
12	2	0	3	0	0
13	3	0	0	1	1
14	3	0	0	2	0
15	4	0	0	0	1
16	5	0	0	0	0

En la Ecuación 1 se muestra las dos combinaciones posibles de realizar y en las que se alcanza el costo óptimo a través de aplicar una combinatoria de 2 elementos ubicados en dos formas distintas. Esta ecuación es aplicable en situaciones donde el valor de N no es demasiado elevado, lo que permite determinar con relativa facilidad el número exacto de formas en las que se puede lograr la agrupación esperada. Sin embargo, para sistemas más grandes y complejos, fue necesario desarrollar una nueva metodología que permita relacionar los clústeres como una condición fundamental, continuando así con la identificación de los diversos grupos de pedidos. Así mismo también lo podemos hacer por medio de Python:

$$\frac{n!}{n2!\,n3!} = \frac{2!}{1!\,1!} = 2 \qquad (1)$$

Figura 2

Nueva metodología que permita relacionar los clústeres como una condición fundamental

```
#Para cluster 1 y 2
import math

def calcular_resultando (N, cl1, cl2, a, b):
    Resultado = 0

    #Iterar sobre i y j según las condiciones dadas
    for i in range(N // cl1 + 1):
        for j in range (N // cl2 + 1):
            #Verificar la condición cl1*i + cl2*j = N
            if cl1*1 + cl2*j = N:
                #Calcular el término de la fórmula
                termino = math.factorial(N - a*i -b*j) / (math.factorial(i)*math.factorial(j))
                print(termino, " ", i , " ",j)

     return resultado

#Valores de ejemplo
N = 5
cl1 = 2
cl2 = 3
a = 1
b = 2

#Calcular el resultado utilizando los valores de ejemplo
resultado = calcular_resultado(N, cl1, cl2, a, b)
print("El resultado es:", resultado)

El resultado es: 2.0
```

A partir de investigaciones anteriores, en las cuales se examinó la relación entre los tamaños de los agrupamientos, los costos, la heterogeneidad en los requerimientos de materiales y el tamaño del sistema, se derivó la siguiente función (Ecuación 2):

$$\sum_{i=0}^{N/cl1} \sum_{j=0}^{N/cl2} \frac{(N - ai - bj)!}{i!\,j!} \qquad (2)$$

En esta función, los índices i y j determinan la cantidad de veces que se aplicarán las condiciones de los clústeres, mientras que $cl1$ y $cl2$ representan los valores específicos de los clústeres a ser analizados. Los parámetros a y b indican la cantidad de ceros que se asignan a estos valores, considerando el tiempo que los pedidos permanecen en inventario.

Es crucial establecer ciertas condiciones para realizar este cálculo de manera precisa. Los índices de las sumatorias deben comenzar en $I = 0$ y $j = 0$, y terminar en la relación entre el tamaño del sistema y el valor de cada clúster $\left(\frac{N}{cl}\right)$. Además, es necesario que se cumpla la condición de que la suma ponderada de los clústeres sea igual al tamaño del sistema: $(cl1 * i \ + cl2 * j) = N$.

Quedando así (Ecuaciones 3 y 4):

$$A = \left(\frac{(i,j)}{(cl1\ i\ )}\right) + cl2j = N; i,j = Z \tag{3}$$

$$\sum_{(i,j)\epsilon A} \frac{(N - ai - bj)!}{i!\,j!}(i,j) \tag{4}$$

Trabajando con un tamaño de sistema $N = 10$ (no es posible continuar con el ejemplo anterior debido a que 1i + 2j + 3k ≠ 5) y los clústeres que contengan 1, 2 y 3 nuestra función quedará como (Ecuación 5):

$$\sum_{i=0}^{10/1} \sum_{j=0}^{10/2} \sum_{k=0}^{10/3} \frac{(10 - 0i - 1j - 2k)!}{i!\,j!\,k!} = 274 \tag{5}$$

De esta manera, logramos reducir el tiempo de procesamiento aproximadamente al **53%** de lo que era inicialmente, ya que solo se deben analizar 274 de las 512 filas. Este último ejemplo se puede resolver empleando el comando de Python (Figura 3):

Figura 3

Reducción del tiempo de procesamiento

```
import math

L1_SISTEMA = 10

a=0
b=1
c=2
suma=0


for i in range (0, L1_SISTEMA+1, 1):
    for j in range (0, L1_SISTEMA+1, 1):
        for k in range (0,L1_SISTEMA+1, 1):
            if ((i*1 + j*2 + k*3)==L1_SISTEMA):
                prob=math.factorial(L1_SISTEMA-i*a-j*b-k*c) / (math.factorial(i)*math.factorial(j)*math.factorial(k))
                print("i: "+str(i)+" j: "+str(j)+" k: "+str(k)+" Total combinaciones: "+str(int(prob)))
                suma=suma+prob

print()
print("Número de combinaciones útiles: "+ str(suma))
```

Comando que devuelve el número de combinaciones útiles para N=10. Cabe destacar que este código deberá ser modificado en los casos donde se incorporen más restricciones en los clústeres, al ser necesario incorporar una sumatoria.

CONCLUSIONES

En síntesis, el estudio ha generado soluciones significativas, destacando la reducción del tiempo de procesamiento al examinar las tablas de posibles pedidos. Estas soluciones no solo prometen mejorar la eficiencia en la gestión de pedidos e inventarios, sino también optimizar la asignación de recursos, contribuyendo a un proceso más eficiente y rentable en el ámbito de la gestión y logística. El enfoque teórico presentado abre nuevas perspectivas para la toma de decisiones en la determinación del tamaño de los lotes de pedido, ofreciendo un camino hacia la mejora continua en el manejo de la cadena de suministro.

Este enfoque se basa en la doble condición empírico-matemática del modelo, permitiendo la aplicación de cálculos para diversos tamaños de sistemas y agrupamientos variables, lo que amplía su aplicabilidad y versatilidad. Así, un problema complejo se puede abordar a partir de un caso simple de combinatoria. Además, es relevante destacar que las afirmaciones sobre modelos implican tres niveles de verdad: sintáctico, semántico y pragmático, los cuales facilitan la representación de la realidad y el aprendizaje a partir de los modelos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que hicieron posible esta producción, su apoyo y contribuciones fueron esenciales para llevar a cabo este proyecto con éxito. Destacamos el especial acompañamiento de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, quien nos ha brindado el apoyo financiero para continuar explorando el basto mundo de la optimización de procesos bajo los proyectos PID UTN 8104 TC y 8105 TC. F.O.S.V es investigador del CONICET Argentina.

REFERENCIAS

Ballou, R. H. *(2004). Logística: Administración de la cadena de suministro.* (C. Mendoza Barraza & M. J. Herrero Díaz, Trans.). (5ta ed.). Pearson Education.

Heizer, J. H., y Render, B. *(2004). Principles of operations management.* (5ta ed.). Prentice Hall College Div.

Holmström, J., & Romme, A. G. L. (2012). Guest editorial: Five steps towards exploring the future of operations management. *Operations Management Research, 5*(1), 37–42. DOI: 10.1007/s12063-011-0060-8

Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). *Factory Physics.* (Third Ed.). Waveland Press Inc.

Tobares, T. D., Mieras, M. M., Palma, R. R., & Sánchez-Varretti, F. O. (2021). Theoretical relationship between the cluster size of orders in the materials requirement planning. *International Journal of Logistics Systems and Management., 46*(1), 27–46. DOI: 10.1504/IJLSM.2021.10040859

Tobares, T. D., Narambuena, C. F., & Sánchez Varretti, F. O. (2017, septiembre 4-8). *Análisis de agrupamientos de pedidos mediante enumeración exhaustiva en la MRP* [Conference presentation]. VI simposio argentino de informática industrial (SII)-JAIIO 46 y 43 CLEI, Córdoba, Argentina. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66163/discover?field=author&filtertype=author&filter_relational_operator=equals&filter=Tobares%2C+Tania+Daiana

* * *