ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1982

Numerical model of multi-product and multi-period resupply for an electrical distribution company

César Cama, Ph.D[1], *Alberto Hananel, Dr.*[1]
[1] Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, cesar.cama@usat.edu.pe, ahananel@usat.edu.pe

The objective of this study is to numerically model the calculation of supply replenishment in an electric power distribution company in northern Peru to reduce the monetary value of its inventories. The approach is quantitative and the design is quasi-experimental. To this end, the constraints of an appropriate replenishment model were defined by interviewing logistics managers from the last 10 years. The operational applicability of each of the current calculation models was then evaluated. Based on this, a multi-product, multi-period replenishment model appropriate to the company's conditions was proposed. The designed replenishment model was then experimentally applied for 9 months to a convenience sample of 10 SKUs due to company restrictions, and a comparative analysis of the results was performed. The research concludes that the proposed model can be applied in a single periodic review to multiple SKUs with different types of demand, delivery times, unit prices, and source proximity, achieving an average reduction in valued stock by 69.93%, proving its effectiveness and applicability to similar organizations.

Keywords—Replenishment Model, Reactive Logistics, Proactive Logistics

Modelo numérico de reaprovisionamiento multiproducto y multiperiodo para una empresa de distribución eléctrica

César Cama, Ph.D[1], *Alberto Hananel, Dr.*[1]
[1] Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, cesar.cama@usat.edu.pe, ahananel@usat.edu.pe

Resumen*– Se busca modelizar numéricamente el cálculo de reaprovisionamiento de suministros en una empresa de distribución de energía eléctrica del norte del Perú para disminuir el valor monetario de sus inventarios, siendo su enfoque cuantitativo y su diseño de tipo cuasi-experimental. Para este fin, se definieron los problemas de un modelo adecuado para su reaprovisionamiento entrevistando a los jefes de logística de los últimos 10 años; luego se evaluó la aplicabilidad operativa de cada uno de los modelos de cálculo actuales, a partir de lo cual se propuso un modelo de reaprovisionamiento multiproducto y multiperiodo apropiado a las condiciones de la empresa. Seguidamente, se aplicó experimentalmente durante 9 meses el modelo diseñado de reaprovisionamiento a una muestra por conveniencia de 10 SKU debido a restricciones de la empresa, realizándose un análisis comparativo de resultados. La investigación concluye que el modelo propuesto puede aplicarse en una sola revisión periódica a múltiples SKU con distinto tipo de demanda, tiempos de entrega, precio unitario y proximidad de fuente, logrando disminuir en promedio un 69,93% el stock valorizado, comprobando su efectividad y su aplicabilidad en organizaciones similares.

***Palabras clave*—Modelo de Reaprovisionamiento, Logística Reactiva, Logística Proactiva.**

I. Introducción

El estudio [1] sobre la aplicación de simulaciones de Monte Carlo y optimización bayesiana permite demostrar cómo las políticas de revisión continua pueden aumentar significativamente las ganancias esperadas al gestionar dinámicamente los niveles de inventario según la demanda diaria y los tiempos de entrega. En [2], que considera como una de sus dimensiones la facilidad de organizar envíos internacionales a precios competitivos, el Perú ha logrado un avance significativo gracias a la implementación de mejoras en la infraestructura, los procedimientos de gestión de inventarios locales y aduaneros, y la calidad de los servicios logísticos en el país; se puede afirmar la contribución favorable de los modelos de inventario que les permite tener una ventaja competitiva a las organizaciones. Sin embargo, actualmente muchas empresas industriales aún desatienden la ventaja que otorga una óptima gestión de inventarios, lo cual conlleva a grandes pérdidas, tal como lo demuestra [3]. Por ello, es importante el desarrollo de plataformas logísticas para lograr competitividad y rentabilidad en las empresas, a fin de no ser consideradas solo como un centro de costos y convertirlas más bien en un foco generador de utilidades.

Los modelos teóricos de reaprovisionamiento periódico y continuo tratados por varios autores tales como [4], [5] y [6], al ser aplicados generalmente a un único producto o SKU, no contemplan en sus consideraciones **problemas** operativos como las fuentes de información que alimentan su demanda, los costos involucrados en múltiples envíos necesarios para atender la demanda, la necesidad de cálculos simultáneos para distintos productos en un horizonte de reaprovisionamiento, el tipo de demanda o la rotación del producto.

Electronorte S.A. (ENSA) es una empresa peruana de servicio público en el rubro de generación y distribución de electricidad, cuya gestión está a cargo del Fondo Nacional de Financiamiento de la Actividad Empresarial del Estado (FONAFE), formando parte del Grupo Distriluz, el cual genera y distribuye energía eléctrica en 12 de las 24 regiones del Perú, compartiendo gestión estratégica. La distribución y comercialización de energía eléctrica de ENSA se da en las regiones de Lambayeque y parte de Cajamarca, ubicadas en el norte del Perú, atendiendo a más de 462 mil clientes al 2023, con un coeficiente de electrificación de 103,62% en su Unidad de Negocios Chiclayo [7], en un área de concesión que abarca 5 366 km². Su estructura empresarial está dividida por criterios geográficos en tres Unidades de Negocios.

Las finanzas de la empresa muestran que la estructura del costo de ventas de ENSA tiene como principal componente la compra de la energía comercializada, que representa entre el 52% y 56% de las ventas, así como también su costo operativo. Este último está constituido por gastos de personal ligados a las actividades de mantenimiento de redes eléctricas y la gestión técnica comercial (5% – 7%), pero principalmente por el valor del stock de inventarios de suministros eléctricos (71% – 81%), el cual se ha incrementado 97,17% en los últimos 11 años. Se observa una relación directa entre el deterioro del margen de utilidad bruta de ENSA y el aumento de su costo operativo con el incremento del valor monetario del inventario neto constituido por suministros almacenados, los cuales pasaron de **S/ 5 641 740** en el año 2008 a **S/ 11 123 871** al año 2019 (+97,17%) [8].

Respecto a los clientes de la empresa, la evolución de las cifras relevantes de ENSA en el período 2008–2019 [9]-[19] muestra que el ratio de stock valorizado vs. número de clientes atendidos (Soles/Cliente) ha crecido 31,3%, pasando de 21,72 a 28,52 soles por cliente.

TABLA I
EVOLUCIÓN DE CIFRAS FINANCIERAS RELEVANTES ENSA SA 2008 -2019

Año	Valor Stock al cierre anual MS/	Ventas Totales MMS/	Costo de Venta MMS/	Util. Bruta anual MMS/	Margen de Util. Bruta	Ratio Valor Stock / Util. Bruta	Ratio Valor Stock / Clientes
2009	5,526.5	180.9	130.4	50.5	26.56%	10.94%	19.82
2010	7,693.8	199.9	145.6	54.3	27.14%	14.17%	24.05
2011	5,993.9	233.1	172.9	60.2	25.82%	9.96%	17.07
2012	4,449.0	259.2	191.4	67.8	26.11%	6.56%	11.91
2013	8,963.0	281.7	208.4	73.3	26.00%	12.23%	22.44
2014	8,084.0	315.4	226.8	88.6	28.11%	9.12%	25.18
2015	9,628.0	331.3	236.7	94.6	28.56%	10.18%	27.79
2016	10,699.5	348.3	256.6	91.7	26.32%	11.67%	29.59
2017	10,241.4	331.3	244.6	86.8	25.15%	11.81%	27.36
2018	11,484.0	367.4	276.1	91.4	24.86%	12.57%	30.01
2019	11,123.9	409.6	335.3	74.3	18.13%	14.98%	28.52

Fuente: Memorias Anuales Distriluz 2008–2019 [9]-[18].

En el catálogo de materiales del Grupo Distriluz se cuentan 35 767 suministros eléctricos almacenables (Stock Keeping Unit, SKU). ENSA registra movimientos y saldos en 1 939 de ellos, que representan su stock valorizado de suministros almacenados. El incremento del valor del inventario de suministros a lo largo de los años no guarda relación con el incremento de ventas, lo que evidencia que la gestión de inventarios de ENSA impacta en el aumento de su inventario principalmente por la falta de una metodología para el cálculo de reaprovisionamiento de suministros. Esto se evidencia en la ausencia de procedimientos estandarizados de cálculo en sus directivas, dejando a la subjetividad del Jefe de Logística esta responsabilidad, lo cual impacta negativamente en la rentabilidad de ENSA al reducir su margen de utilidad bruta.

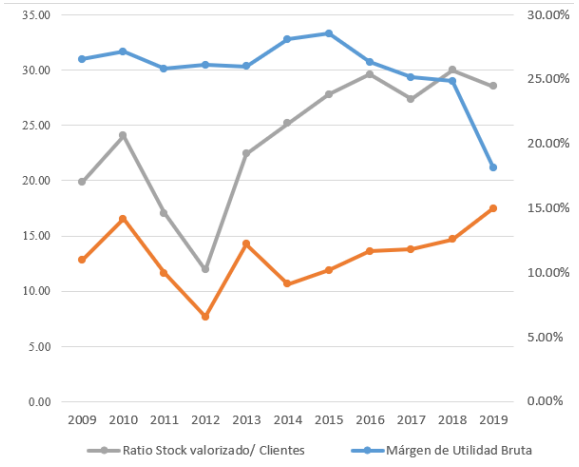

Fig. 1 Evolución de cifras económicas relevantes ENSA 2008 -2019.

II. DIAGNOSTICO

Para conocer la problemática del proceso de cálculo del reaprovisionamiento de suministros en ENSA, se realizaron entrevistas a los profesionales que ocuparon el cargo de Jefe de Logística entre 2008 y 2019. Se escogió el método de la entrevista por el reducido tamaño de la muestra disponible (sólo 5 personas) y la alta variabilidad de respuestas posibles, buscando obtener información compleja, completa y precisa. Se utilizó una entrevista de tipo **semiestructurada** o **semienfocada**, basada en el perfil mostrado en el Anexo 1.

.

TABLA II
ANALISIS DE PROBLEMAS PARA LA APLICACIÓN DE MODELOS DE REAPROVISIONAMIENTO EN ENSA (2018-2019)

Dificultad identificada	Tipo	Coincidencia entre entrevistados
Pesada estructura externa organizacional	Externo	5
Negativa de proveedores a múltiples despachos		4
Falta de procedimiento estándar de reaprovisionamiento	Interno	3
Dificultad en la estimación de necesidades para múltiples productos		5
Recepción asíncrona de requerimientos para un mismo SKU		5
Bajo nivel de gestión autónoma de compras		4
Inadecuada planificación de requerimientos		4

Del análisis de estos **problemas** diagnosticados se plantearon los requerimientos para el nuevo modelo de gestión de reaprovisionamiento, como se resume en la siguiente tabla.

TABLA III
REQUERIMIENTOS PROPUESTOS PARA EL NUEVO MODELO DE REAPROVISIONAMIENTO

Problema diagnosticado	Requerimiento al modelo propuesto
Pesada estructura externa organizacional	Permitir que las cantidades y el momento calculados para cada SKU se adapten a las condiciones contractuales de los Contratos Marco, respetando el lead time de cada proveedor.
Negativa de proveedores a múltiples despachos	Ajustar la cantidad solicitada de cada SKU a la cantidad mínima de despacho definida en los Contratos Marco.
Falta de procedimiento estándar de reaprovisionamiento	Ser flexible para contemplar múltiples variables y abarcar un gran número de SKU (ser multiproducto) y distintos tiempos de entrega por SKU (ser multiperiodo).
Dificultad en la estimación de necesidades de múltiples productos	Debe poder adaptarse al tipo de demanda de los SKU, que por ser ésta de consumo interno planteará distintos ritmos de consumo.
Recepción asíncrona de requerimientos para un mismo SKU	Deberá aplicarse reiteradamente según un Horizonte de Reaprovisionamiento (en días), que será el número de días que serán abastecidos con la cantidad de reaprovisionamiento de cada SKU.

Bajo nivel de gestión autónoma de compras	Debe poder definir cantidades de compra pequeñas que permita ser atendidas con la autonomía de las jefaturas, respetando condiciones contractuales.
Inadecuada planificación de requerimientos	Deberá considerar cambios de demanda por una planificación deficiente de distintas fuentes de demanda, corregida con un Stock de Seguridad

III. DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DE REAPROVISIONAMIENTO MULTIPRODUCTO Y MULTIPERIODO (MM)

Para determinar la cantidad de unidades a solicitar (reaprovisionar) de un SKU (Q_T) y el momento en que debe realizarse el pedido (T), se plantea un modelo numérico, así como el procedimiento para su aplicación. Las expresiones básicas para deducirlo son:

$$Q_T = D + S - S_D - S_T \quad (1)$$

y:

$$T = H+L \quad (2)$$

La expresión (1) se basa en el modelo periódico de reaprovisionamiento (modelo *P*), añadiendo el término de stock en tránsito, mientras que la expresión (2) se plantea con base en un criterio de reaprovisionamiento periódico bajo condiciones específicas de cada SKU, donde:

Q_T = Cantidad calculada a pedir (comprar) del SKU para atender su demanda total en el periodo de reaprovisionamiento T, expresada en unidades.

D = Demanda total del SKU analizado estimada para el periodo de reaprovisionamiento T, expresada en unidades.

S = Stock de seguridad del SKU calculado para atender una sobre demanda en el periodo de reaprovisionamiento T, expresada en unidades.

S_d = Stock disponible del producto registrado en el sistema de información al terminar el día que se realiza el cálculo (valor de cierre diario) de Reaprovisionamiento, expresado en unidades.

S_T = Stock en tránsito, referido al número de unidades del SKU calculado que se tienen confirmados por recibir de proveedores, transferencias o devoluciones, cuya fecha de recepción se encuentra en el horizonte de reaprovisionamiento, expresado en unidades.

T = Periodo de Reaprovisionamiento expresado en días, para el cual se realiza el cálculo de reaprovisionamiento del SKU (Q_T).

H = Ponderación de factores que afectan el SKU en el Perodo de Reaprovisionamiento T.

L = Es el Lead Time o tiempo de entrega, expresado en días, que tarda el SKU desde el día que se coloca la orden de compra o pedido hasta estar a disposición para despacho en almacén. Incluye el tiempo de entrega del proveedor, el tiempo de transporte y los tiempos de recepción y control de calidad empleados por almacén.

A. Cálculo de la Cantidad a pedir QT

Siendo la demanda de suministros de tipo Estocástica o No Dependiente, la exactitud de la estimación de D dependerá en gran medida de los datos registrados con anticipación por las áreas solicitantes en sus Ordenes de Trabajo. Habiendo anticipado que no todos los usuarios de la organización planifican y prevén adecuadamente sus requerimientos en el sistema con anticipación, se debe buscar y estimar las fuentes las adicionales para contar con la demanda completa, siendo esta en el caso de ENSA:

$$D_T = D_{OT} + D_{RQ} + D_{PR} \quad (3)$$

Esta expresión de la Demanda Total se obtiene de las políticas y consideraciones de la ficha validada aplicada al Jefe de Logística, donde:

D_{OT} = Demanda estimada del SKU, en el periodo de aprovisionamiento T, expresada en unidades, tomada de las Ordenes de Trabajo registradas en el sistema de información.

D_{RQ} = Demanda estimada del SKU, en el horizonte de aprovisionamiento T, expresada en unidades, tomada de requerimientos externos (pedidos por correo, coordinaciones verbales).

D_{PR} = Demanda estimada del SKU, en el horizonte de aprovisionamiento T, expresada en unidades, tomada de requerimientos de la Unidad de Proyectos de Inversión.

Para el cálculo del stock de seguridad (S) se utilizó un nivel de seguridad del 95%, valor definido con los responsables de la gestión, aplicando la siguiente formula (Chase & Jacobs, 2014):

$$S = Z_x\sqrt{L_x\,\sigma_{\mathrm{d}}^{2}} \quad (4)$$

donde:

Z = Desviación estándar normal del SKU estimado en función del nivel de seguridad definido (95%). Aplicando la gráfica de distribución normal acumulada, el valor obtenido es 1.64502814258912

σ_{d} = Desviación estándar de la demanda diaria del SKU, valor registrado en el sistema.

Reemplazando (3) y (4) en (1), la expresión total del modelo propuesto para el cálculo de Q_T es:

$$Q_H = D_{OT} + D_{RQ} + D_{PR} + Z_x\sqrt{L_x x \sigma_{\mathrm{d}}{}^2} - S_D - S_T \quad (5)$$

B. Cálculo del Periodo de Reaprovisionamiento T

Para estimar el período de reaprovisionamiento aplicable, es decir, cada cuántos días debe realizarse la estimación de Q_T del SKU según la formula (5), se definió la ponderación (H) con las principales variables que influyen el horizonte de planificación del SKU. Para esta ponderación los pesos asignados considerados fueron coordinados con los responsables del proceso logístico de la empresa, en función de su experiencia y la operatividad bajo el criterio de Juicio de Expertos. Las variables y pesos considerados fueron:

- L, Tiempo de entrega (Lead Time): 10%
- PU, Precio Unitario: 15%
- IR, Índice de Rotación: 35%
- F, Proximidad de la fuente: 40%

Con ello se define:
H = L (0,1) + P.U. (0,15) + I.R. (0,35) + F (0,4)

TABLA IV
CRITERIOS DE PONDERACIÓN OBTENIDOS DEL JUICIO DE EXPERTOS SEGÚN CRITERIOS EVALUADOS

Lead Time ((L)		Precio Unitario (PU)		Índice Rotación IR		Proximidad Fuente (F)	
L <= 3	0	P <= S/10	1	IR <= 0.5	1	Regional	1
3 < L	1	S/10 < PU	2	0.5 < IR	2	Nacional	2
L <= 7		PU <= S/50		IR <= 1			
7 < L	4	S/50 < PU	4	1 < IR	4	América	4
L <= 30		PU < S/100		IR <= 2			
L > 30	6	P > S/100	6	IR > 2	6	Resto Mundo	6

Elaboración propia: Clasificación de cada SKU según cada criterio evaluado

Con base en la ponderación H obtenida para cada SKU, se coordinaron con los expertos cuatro alternativas discretas de período de reaprovisionamiento T: 7, 14, 28 y 56 días, buscando contemplar las principales diferencias en patrones de demanda entre los materiales. De esta forma, se estableció la siguiente regla de asignación para T:

Si H <= 2,5, se aplica T = 7 días
Si 2,5 < H <= 4,1, se aplica T = 14 días
Si 4,1 < H <= 5,6, se aplica T = 28 días
Si H > 5,6 se aplica T = 56 días

C. Metodología para la aplicación del Modelo de Reaprovisionamiento MM

Una correcta aplicación del modelo MM exige considerar lo siguiente antes de su ejecución:

- Clasificar previamente todos los SKU por su fuente de aprovisionamiento o proveedor definido.
- Subclasificar todos los SKU de cada proveedor de acuerdo al período de reaprovisionamiento *T* definido para cada SKU. (Se recomienda no definir más de 4 horizontes de reaprovisionamiento para todo el catálogo de materiales).
- Para cada SKU, definir su tiempo de entrega *L* (condición de compra), la unidad de manejo en almacén, la desviación estándar de su consumo (actualizada cada ~6 meses) y la unidad de despacho del proveedor.
- Realizar un cálculo de Q_T con redondeo al entero inmediato superior.
- Ajustar Q_T de acuerdo a la unidad de despacho del proveedor, redondeando nuevamente al entero inmediato superior según dicho múltiplo.

IV. APLICACIÓN DEL MODELO DE REAPROVISIONAMIENTO MULTIPRODUCTO Y MULTIPERIODO PROPUESTO

A. Universo

Se definió la unidad de medición como las *Familias de Suministros* de la empresa. De las 34 familias existentes, el universo abarca las 16 familias gestionadas directamente por la jefatura logística de ENSA (las demás son gestionadas por Distriluz).

B. Población

Dado que la medición se realiza a nivel de familias de suministros, la población está conformada por las familias de suministros con índice de rotación mayor o igual a 3 (IR ≥ 3). Este criterio se cumple en 4 familias.

C. Muestra

La muestra de la investigación son las 4 familias de suministros con IR ≥ 3 (es decir, igual al tamaño de la población en este caso). Adicionalmente, se aplicó un muestreo **no probabilístico por conveniencia**, determinado por la administración de ENSA debido a restricciones de confidencialidad en su información.

El muestreo por conveniencia es un método no probabilístico que selecciona unidades disponibles o accesibles según criterios prácticos, como el acceso a los datos, el tiempo o la disposición de la organización [21]. Aunque este enfoque no permite realizar inferencias estadísticas al universo poblacional, es válido en investigaciones exploratorias, estudios de caso y validaciones preliminares de modelos en contextos reales [22].

Según Patton, cuando el interés principal es la implementación o validación de un modelo en condiciones específicas, la validez interna del diseño puede ser prioritaria frente a la generalización estadística [23]. Este es el caso de investigaciones aplicadas en empresas, donde las restricciones de confidencialidad o logística pueden limitar el tamaño muestral.

Por otro lado, Yin sostiene que en estudios de caso o de naturaleza aplicada, muestras reducidas, pero teóricamente relevantes, pueden proporcionar información valiosa sobre la operatividad del fenómeno bajo estudio [24].

En el presente estudio, el número de SKU analizados (10) fue determinado por ENSA debido a limitaciones internas y de confidencialidad de su sistema logístico. Ante esta restricción, se optó por un muestreo por conveniencia, seleccionando SKU de alta rotación y sin estacionalidad para evitar sesgos y asegurar consistencia interna. Este enfoque permite validar el modelo de manera operativa, aunque se reconoce que los resultados no son generalizables al universo completo de SKU. Esta limitación es coherente con otros estudios de optimización

logística que aplicaron modelos a muestras similares en contexto real [25].

Las líneas de suministros del almacén de ENSA, sus respectivos índices de rotación, la responsabilidad de compra y el tamaño de muestra escogido se listan en el Anexo 2. De los 10 SKU seleccionados de las familias cuya responsabilidad de gestión recae en la Unidad Logística de ENSA, a 5 de ellos se les aplicó el modelo de reaprovisionamiento MM y a los otros 5 (de características similares) no se les aplicó, con el objetivo de comparar resultados. La aplicación del modelo MM se llevó a cabo durante un lapso de 9 meses (273 días), realizando semanalmente junto al jefe de Logística el cálculo de las cantidades *QT* a reaprovisionar para cada uno de los 10 SKU definidos.

El resultado detallado de la aplicación del modelo de reaprovisionamiento MM propuesto se muestra en la Tabla V. En resumen, se observó una importante reducción en el valor del stock promedio diario para todos aquellos SKU donde se aplicó el modelo, en comparación con variaciones mínimas en los SKU de control donde no se aplicó. A continuación, se discuten estos hallazgos.

IV. DISCUSION

Un modelo supone el esfuerzo por retratar una parte de la realidad que, al utilizar relaciones matemáticas, permite predecir su comportamiento a partir de la interacción de un conjunto de variables. En la Tabla V se puede apreciar que, en el caso de los SKU 10002 y 10006 de la línea Agregados y afines de la construcción, a los cuales sí se les aplicó el modelo MM, ambos disminuyeron considerablemente su stock promedio diario valorizado en -55,93% y -73,45% respectivamente, mostrando un rotundo impacto del modelo MM en el valor del stock promedio diario de dichos SKU.

En la línea de Aisladores, el SKU 20272 (con modelo MM) evidenció una fuerte reducción de su stock promedio diario valorizado en -50,49%, mientras que el SKU 20281 (sin modelo) mantuvo su nivel de stock prácticamente, incluso con un ligero aumento de 1,35%.

Para el tercer grupo, conformado por tres SKU de la línea Equipos de Protección y Seccionamiento en Baja Tensión, el SKU 130171 (con modelo MM) redujo su stock promedio diario valorizado en -85,05%; mientras que los SKU 130046 y 130181 (sin modelo) mantuvieron su stock promedio diario prácticamente estable, con variaciones muy pequeñas de -0,21% y +0,37% respectivamente.

De forma consistente, en el cuarto grupo, constituido por tres SKU de la línea de *Ferretería eléctrica*, el SKU 150002 (con modelo MM) disminuyó su stock promedio diario valorizado en -84,73%. En cambio, los SKU 150089 y 150090 (sin modelo) casi no sufrieron variación en su stock promedio diario (-1,06% y -2,61%, respectivamente). Estos resultados demuestran el alto impacto de la aplicación del modelo MM en la reducción de inventarios para los SKU intervenidos, frente a cambios despreciables en los no intervenidos.

TABLA V
RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DEL STOCK PROMEDIO DIARIO (CON Y SIN MODELO MM)

SKU	Item	Aplica	VALOR STOCK PROM DIARIO INICIAL	VALOR STOCK PROM. DIARIO FINAL	Var.
130171	INT TER, CURV,BIPOL, 16A,400V	Sí	S/34,686	S/5,187	85.05%
150002	ABRAZ FºGº SIMP PAST 1.5"Ø	Sí	S/3,085	S/471	84.73%
10006	CEMENTO PORTLAND TIPO MS I	Sí	S/2,125	S/564	73.45%
10002	ARENA GRUESA	Sí	S/460	S/203	55.93%
20272	AIS POLSUSP, 24KV, 600MM ,170KV	Sí	S/4,905	S/2,428	50.49%
150090	ARAN CUADR CURV 2 1/4x2, 1/4x3/16, Ø	No	S/432	S/421	2.61%
150089	ARAN CUADR CURVADA 2"x 2"x3/16", 11/16"Ø	No	S/524	S/518	1.06%
130046	INT TER,CURV C,TRIPOL,63A,4 00V,ICC =6KA	No	S/13,932	S/13,903	0.21%
130181	INT TER CURV C,TRIP, 32A,500V,10KA/ 380	No	S/638	S/641	-0.37%
20281	AIS POLIM, 35KV,875 MM, BIL200KV"	No	S/184,564	S/187,063	-1.35%

Fuente: Movimientos de almacén ENSA (2019–2020).

En conjunto, los resultados confirman la efectividad del modelo de reaprovisionamiento multiproducto y multiperiodo (MM). El 100% de los SKU a los que se aplicó el modelo MM experimentaron una reducción considerable en su stock promedio diario valorizado, entre -50,49% y -85,05%, con un

promedio de -69,93%, mientras que el 100% de los SKU no afectados por el modelo mostraron variaciones muy bajas (promedio de +0,43%, prácticamente despreciables), manteniendo los niveles iniciales de gestión previos a la intervención.

Adicionalmente, los resultados reafirman que el modelo MM permite calcular de manera coordinada las variables clave de inventario —**cuánto** (QT) y **cuándo** (T) comprar los suministros necesarios— considerando tanto un buen nivel de servicio como el impacto económico para reducir el valor de los inventarios gestionados. Para un análisis más profundo de la demanda, podría complementarse este enfoque con técnicas de series de Fourier que modelen componentes cíclicas, lo que permitiría simular el comportamiento de consumo bajo distintos escenarios; sin embargo, dicha exploración queda fuera del alcance del presente trabajo.

V. Beneficios del Modelo MM

Para evaluar la conveniencia del modelo MM propuesto, con base en la experiencia de su aplicación se realizó una comparación cualitativa respecto a dos modelos tradicionales: el modelo de revisión periódica *(P)* y el modelo de lote económico de compra *(EOQ, modelo Q)*. El modelo MM cumple con todas las condiciones que contemplan los modelos P y Q, pero adicionalmente incorpora variables como el precio unitario, el período de reaprovisionamiento, el tipo de demanda, el lead time, el índice de rotación, el stock de seguridad y el stock en tránsito de cada SKU.

En términos cualitativos, el modelo MM contempla la posibilidad de implementar una logística **proactiva** (en lugar de meramente reactiva) en la gestión de inventarios, así como la capacidad de realizar cálculos simultáneos para múltiples productos en una sola estimación de reaprovisionamiento. La **Tabla VI** resume una comparación de criterios entre el modelo MM y los modelos P, Q, así como la gestión anterior (sin modelo formal). Se observa que el modelo MM satisface todos los criterios relevantes que los modelos previos no consideraban de manera integral.

TABLA VI
COMPARACIÓN CUALITATIVA:
MODELO MM VS. MODELO P VS. MODELO Q VS. GESTIÓN ANTERIOR

		Modelo			
Criterio de comparación	**Variable**	**Anterior**	**P**	**Q**	**MM propuesto**
Aplicabilidad con Logística Proactiva		No	Sí	Sí	Sí
Aplicabilidad de múltiples envíos de los proveedores del producto		Sí	Sí	No	Sí
Aplicabilidad de cálculo simultáneo a múltiples productos (Horizonte de reaprovisionamiento)	H	No	No	No	Sí
Adaptación al tipo de demanda interna de la organización	D_{OT}, D_{RQ}, D_{PR}	No	Sí	No	Sí
Costos de almacenamiento, costo de lanzamiento de pedido	$S/$	No	No	Sí	Sí
Costo de inventario de productos	$S/$	No	No	Sí	Sí
Consideración del tiempo de entrega de los proveedores en cada producto evaluado	L	No	Sí	No	Sí
Consideración del precio unitario o valor del producto evaluado	$P.U.$	Sí	No	No	Sí
Consideración del Índice de Rotación del producto evaluado	IR	No	No	No	Sí
Considera la proximidad de la fuente de aprovisionamiento definida		No	No	No	Sí
Stocks de seguridad, stock disponible	S, S_d	No	Sí	No	Sí
Stock en tránsito	S_T	No	No	No	Sí

V. Conclusiones

Los modelos de reaprovisionamiento aplicados en la gestión de inventarios de ENSA durante el período 2008–2018 presentaron serias dificultades internas y externas que afectaron la operatividad de la gestión. Entre los factores internos destaca una gestión de **logística reactiva** (atender requerimientos a medida que surgen) debido a la falta de aplicación de modelos de reaprovisionamiento, lo cual a su vez se atribuye a la falta de capacidades y competencias del personal responsable, así como a la ausencia de planificación de necesidades. Entre los factores externos destaca la pesada estructura organizacional, que no contempla adecuadamente las necesidades del cliente interno.

Los modelos de gestión logística usados durante el período 2008–2018 ocasionaron el deterioro del margen de utilidad bruta de ENSA, el incremento de su costo operativo y el incremento del valor monetario de los inventarios netos constituidos por suministros almacenados, los cuales pasaron

de S/ 5 641 740 en 2008 hasta S/ 11 123 871 en 2019 (+97,17%).

Los resultados de la aplicación del modelo de reaprovisionamiento multiproducto y multiperiodo (MM) durante el 01.06.2019 al 28.02.2020, sobre los 10 SKU muestreados (por restricciones de la empresa), muestran que este modelo es altamente efectivo en la reducción del stock promedio diario valorizado. El 100% de los SKU a los que sí se les aplicó el modelo experimentaron reducciones significativas entre -50,49% y -85,05% (promedio -69,93%), mientras que el 100% de los SKU de control (sin modelo) apenas variaron alrededor de +0,43%, manteniendo los niveles previos a la intervención. La extrapolación de este porcentaje promedio de reducción al valor total de inventarios de ENSA en 2019 (S/ 11 123 871) sugiere que la organización podría reducir aproximadamente S/ 7,78 millones (equivalente al 10,47% de sus utilidades brutas de 2019) si aplicara el modelo MM en las 34 líneas de productos de su catálogo de materiales.

Si bien el estudio se basó en una muestra por conveniencia de sólo 10 SKU debido a restricciones de la empresa, el modelo MM puede adaptarse a las condiciones de cada organización, incorporando para cada SKU distintas fuentes de demanda y ajustando los criterios y pesos en la estimación de *H*. Esto le confiere gran flexibilidad para diversos entornos empresariales, pudiendo implementarse en sistemas ERP. Se recomienda para trabajos futuros la simulación y validación del modelo en diferentes escenarios, por ejemplo mediante el uso de series de Fourier para analizar patrones de demanda específicos en entornos determinados.

AGRADECIMIENTO

Los suscritos hacemos un especial agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por el apoyo en la gestión de costes para la presentación del mismo así como al personal directivo de ENSA por la confianza depositada para la realización de esta investigación, brindando facilidades de coordinación y las autorizaciones necesarias para desarrollarla.

REFERENCES

[1] S. Maitra, "Gestión de inventarios bajo demanda estocástica: un enfoque de simulación y optimización," 2024.

[2] Banco Mundial BIRF AIF, "Informe del Índice de Desempeño Logístico (LPI) 2023 Banco Mundial," Washington, 2023.

[3] C. Cama, "Propuesta de modelo de reaprovisionamiento multiproducto y multiperiodo para disminuir el inventario de suministros en Electronorte SA," Piura, 2021.

[4] R. J. R. Chase, Administración de Operaciones Producción y Cadena de Sumnistros, México: Mc Graw Hill, 2018.

[5] A. Ferrin, Gestión de stocks en la logística de almacenes, Madrid: FC Editorial.

[6] D. M. Negrón, Administración de Operaciones, México: Alfaomega, 2017.

[7] Distriluz, "Memoria anual 2023," Lima, 2023.

[8] Distriluz, "Memoria anual 2019," Lima, 2019.

[9] Distriluz, "Memoria anual 2008," Lima, 2008.

[10] Distriluz, "Memoria anual 2009," Lima, 2009.

[11] Distriluz, "Memoria anual 2010," Lima, 2010.

[12] Distriluz, "Memoria anual 2011," Lima, 2011.

[13] Distriluz, "Memoria anual 2012," Lima, 2012.

[14] Distriluz, "Memoria anual 2013," Lima, 2013.

[15] Distriluz, "Memoria anual 2014," Lima, 2014.

[16] Distriluz, "Memoria anual 2015," Lima, 2015.

[17] Distriluz, "Memoria anual 2016," Lima, 2016.

[18] Distriluz, "Memoria anual 2017," Lima, 2017.

[19] Distriluz, "Memoria anual 2018," Lima, 2018.

[20] R. Hernández-Sampieri, C. Fernández-Collado y P. Baptista-Lucio, *Metodología de la Investigación*, 6ª ed., México: McGraw-Hill, 2014.

[21] D. W. Stewart y P. N. Shamdasani, *Focus Groups: Theory and Practice*, 3rd ed., Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2015.

[22] M. Q. Patton, *Qualitative Research & Evaluation Methods*, 4th ed., Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2015.

[23] R. K. Yin, *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, 6th ed., Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2018.

[24] A. Maitra and P. Adhikari, “Multi-product inventory optimization under stochastic demand: A constrained case study,” *International Journal of Production Economics*, vol. 252, no. 3, pp. 112–125, 2024.

ANEXO 1

PERFIL DE ENTREVISTA
GESTIÓN DE JEFES DE LOGÍSTICA DE ENSA 2008-2019

Cordiales saludos. Con fines académicos, por favor conteste las siguientes preguntas:

1. Indique su nombre completo y el periodo en el que ejerció el cargo de Jefe de Logística de ENSA: _____
2. Indique ¿Cuál era su grado de formación y su profesión al momento de asumir el cargo de Jefe de Logística en ENSA? _____
3. ¿Conoce usted la diferencia entre las estrategias de Logística Reactiva y Logística Proactiva?
   Sí
   No

Siendo la estrategia de Logística Reactiva la que se basa en desarrollar el proceso de compras, almacenamiento y distribución de bienes a partir de la recepción de un requerimiento del cliente interno o externo con un tiempo de respuesta (lead time) variable pero no nulo; mientras que la estrategia de Logística Proactiva desarrolla el mismo proceso anticipándose a la aparición de los requerimientos basándose en la planificación para la aplicación de un modelo de reaprovisionamiento, haciendo que su tiempo de respuesta sea nulo, indique usted:

4. ¿A cuál de las 2 estrategias se asemeja el desarrollo de su gestión como Jefe de Logística de ENSA?
   Logística Proactiva
   Logística Reactiva
5. ¿Conoce usted qué es un modelo de cálculo de reaprovisionamiento o modelo de gestión de inventarios?
   Sí
   No
6. Si su respuesta a la pregunta 5 fue "Logística Proactiva", indique ¿aplicó usted algún modelo matemático de cálculo de reaprovisionamiento o modelo de gestión de inventarios durante su gestión como Jefe de Logística de ENSA? ¿Cuál? ¿Durante cuánto tiempo lo aplicó? _____
7. Indique ¿de qué manera usted determinaba la cantidad y la oportunidad de los bienes y servicios que habitualmente debía adquirir y poner a disposición de los clientes internos de la organización? _____
8. ¿Qué dificultades experimentó (o piensa que habría experimentado) en la aplicación de un modelo de gestión de inventarios durante su gestión como Jefe de Logística de ENSA? ___

ANEXO 2

TAMAÑO DE MUESTRA ESCOGIDA

Código	Línea SAP	SKU	IR	n	%
Z160	Ferretería Eléctrica	133	9.6	3	2.26%
Z020	Agregados y Afines para Construcción	5	7.04	2	1.50%
Z030	Aisladores	14	6.23	2	1.50%
Z140	Equipos Protección y Seccionamiento BT	26	5.92	3	2.26%
Z090	Cintas y Materiales Aislantes	6	2.96		
Z200	Fusibles	47	2.32		
Z170	Conectores y Terminales	33	2.3		
Z040	Artículos de Oficina	104	2.25		
Z180	Ferretería no eléctrica	30	1.96		
Z190	Formatos e impresiones	10	1.12		
Z120	Empalmes y Terminaciones	14	1.08		
Z250	Postes y Accesorios	34	0.78		
Z010	Aceites, Grasas, Solventes y Dieléctricos	5	0.45		
Z260	Productos Químicos	3	0.15		
Z100	Aditivos Filtros Vehículos	1	0.02		
Z050	Baterías	8	0.01		
Z110	Combustibles para Generación	1	0		
Z115	Lubricantes y Aditivos Filtros para Generación	6	0		
Z125	Uniforme personal Técnico	13	0		
Z130	Equipos, Implementos de Seguridad	81	0		
Z135	Uniformes Personal Administrativo	15	0		
Z210	Herramientas-costo	62	0		
Z240	Misceláneos	64	0		
Z270	Tableros y Celdas	6	0		
Z280	Transformadores de Medida y Protección	11	0		
Z290	Transformadores de Potencia	1	0		
Z340	Piezas de recambio	9	0		
		742		10	7.52%

ANEXO 3

DATA COMPLETA DE LA INVESTIGACIÓN

Data investigación ENSA
Disponible en:
https://estudianteusatedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/cesar_cama_usat_edu_pe/Em3fk-xd7ldJl4g11drQf1QBoNbosAn_YLYwDYK9fhubpw?e=kWjtVB (requiere acceso autorizado)