

Publicaciones

La Gestión Eficiente de Inventarios: una nueva vuelta de tuerca

Por Raúl Toméⁱ

Síntesis:

Los inventarios se despliegan en una cadena compleja de aprovisionamientos (supply chain) con dos propósitos: permitir una operación económica –costo mantener stocks versus costos de reponer- y cubrir al sistema de la incertidumbre.

Esta doble misión de los inventarios puede ser resumida en una sola de carácter económico si reemplazamos la incertidumbre por su consecuencia económica: el costo de dar servicio.

En la literatura técnica disponible sobre gestión de inventarios a la hora de buscar el nivel de inventarios que hace mínimo el costo total, incluido el de dar servicio se divide el problema en dos.

Por un lado se determina la frecuencia óptima de reposición que es aquella que hace mínimo el costo de reponer más el costo de mantener. Esta surge de determinar, mediante un procedimiento que esta nota no cuestiona, el tamaño óptimo de reposición (de compra o de producción).

En cuanto al costo de dar servicio la literatura técnica disponible propone que el stock de seguridad es proporcional al nivel de servicio económico, expresado como el número N de desvíos standard σ_D que garantiza el porcentaje de casos en que se desea asegurar respuesta positiva del sistema, y a la incertidumbre.

Como en el caso de la física aceptar la independencia newtoniana entre masa y velocidad no es problemático a nivel cotidiano, pero inexacto si uno lo aplica al movimiento de los cuerpos celestes. Así la aceptación de la independencia de la incertidumbre de demanda σ_D del tamaño de la frecuencia de reposición es aceptable en períodos relativamente altos de reposición (semanas, meses,...) pero no lo suficiente cuando este período tiende a cero, como ocurre en logísticas con amplio énfasis en servicio.

Como sucede en otros campos los cambios en el ambiente económico y social arrastran tras de sí la necesidad de revisar los conocimientos generalmente aceptados, en este caso las matemáticas asociadas a las decisiones de inventarios, uno de los tópicos centrales de la gestión logística profesional.

En este caso la revisión tiene buenas noticias toda vez que anticipa que los niveles ideales o económicos de inventario en un ambiente de entregas más pequeñas y frecuentes son inferiores a los que anticipa la matemática clásica. Estas buenas noticias son mejores para sectores masivos, fragmentados, con alta tasa de servicio deseada, donde los costos de capital varíen a lo largo de la cadena de aprovisionamientos y donde exista vocación para la coordinación sectorial.

Esperamos que este trabajo sea recibido favorablemente como un aporte a la discusión sectorial. En esa convicción nos despedimos con una frase de Edward Deming, padre de la moderna concepción de la calidad quien hace ya 50 años apuntaba “No existe lo que se llama sana competencia, lo único sano es la cooperación”.

Gestión Eficiente de Inventarios

Como hemos discutido en otros trabajos los inventarios se despliegan en una cadena compleja de aprovisionamientos (supply chain) con dos propósitos: permitir una operación económica –costo mantener stocks versus costos de reponer- y cubrir al sistema de la incertidumbre.

Esta doble misión de los inventarios puede ser resumida en una sola de carácter económico si reemplazamos la incertidumbre por su consecuencia económica: el costo de dar servicio.

Así el nivel ideal de inventarios sería aquel que minimice el costo total de operación de la cadena de aprovisionamientos como sistema, definido este costo en forma amplia como sigue:

$$\text{Costo total} = \text{Costo de reponer} + \text{Costo de mantener} + \text{Costo de dar servicio} = \text{Mínimo}$$

El costo de reponer

Razones técnicas y económicas impiden que la reposición del stock se produzca en cantidades similares a las demandadas (o sea JIT). En general tenemos un comportamiento más o menos continuo en la demanda que la reposición no puede seguir. A veces son razones técnicas: un mismo equipo o máquina produce más de un producto o gama, y por lo tanto la producción de cada item se hace en forma discontinua; en otras oportunidades son razones económicas: los costos de preparación (o set-up) tienden a promover lotes tan grandes como se puede para diluir tanto como sea posible el impacto sobre cada unidad producida.

El costo de mantener:

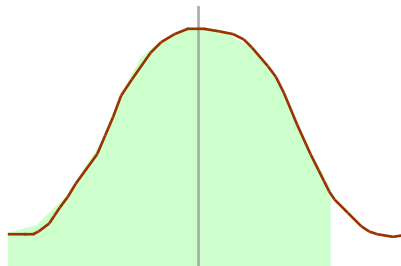
La componente reposición promueve hacer el lote tan grande como sea posible y la frecuencia tan baja como sea posible. Lamentablemente los stocks resultantes de esta práctica (stocks de lote) tienen un costo (financiero, seguros, espacio, ...) que crece cuanto mayor es el lote y menor la frecuencia.

El costo de dar servicio:

En un ambiente de certidumbre de demanda no habrá más consideraciones relevantes. Pero en condiciones reales la demanda es incierta, con un valor de certeza que podemos definir estadísticamente. Si la demanda de un artículo puede asimilarse que se distribuye con distribución normal de media \bar{D} y desvío standard σ_D , entonces si queremos cubrir la demanda en un número suficiente de casos deberemos proveer la construcción de un stock

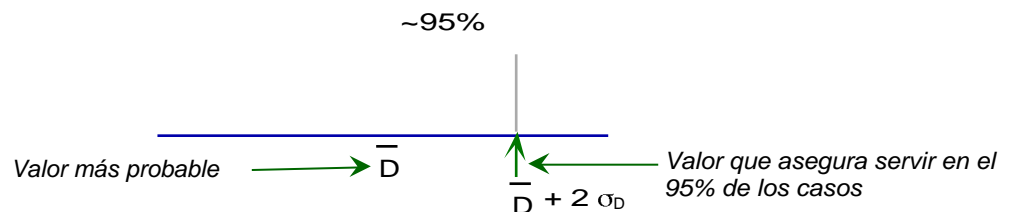
de seguridad que nos ponga a cubierto de la incertidumbre en un porcentaje dado (generalmente alto) de los casos.

Distribución de probabilidad del valor de la demanda



La minimización del costo total¹:

En la literatura técnica disponible sobre gestión de inventarios a la hora de buscar el nivel de inventarios que hace mínimo el costo total, incluido el de dar servicio se divide el problema en dos.



Por un lado se determina la frecuencia óptima de reposición que hace mínimo el costo de reponer más el costo de mantener. Para ello se determina mediante un procedimiento que esta nota no cuestiona el período óptimo de reposición (cada cuánto comprar o producir).

La expresión resultante es la que sigue:

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_R}{i \cdot C \cdot D}}$$

donde T^* es el período óptimo de reposición en días, C_R el costo de reponer (o set-up) en pesos por vez, D la demanda en unidades, i la tasa, en tanto por uno, representativa del costo de mantener los inventarios producidos por la decisión de reponer cada T^* días, y C el valor, en pesos por unidad, de los inventarios.

El stock emergente de estas consideraciones es el que hace mínimo dos de las componentes del costo operativo total.

La aplicación de esta expresión en una cadena compleja de aprovisionamientos ya tiene una dificultad significativa, dado los diferentes costos de set-up en cada eslabón o etapa, el valor creciente de C a medida que se

¹ A lo largo de la discusión nos atenderemos a un sistema de reposición P (a período constante) hacia el que migran los sistemas en un entorno de mayor número de referencias,

entrega D/T^* . En cuanto a D es externo al análisis; respecto de N , este depende en algún caso de la fractila crítica y ésta del costo de no servir. Por último queda σ_D que debemos preguntarnos si depende o no de la frecuencia de reposición standard.

Como en el caso de la física aceptar la independencia newtoniana entre masa y velocidad no es problemático a nivel cotidiano, pero inexacto si uno lo aplica al movimiento de los cuerpos celestes.

Así la aceptación de la independencia de la incertidumbre de demanda σ_D de la frecuencia de reposición D/Q^* es aceptable en períodos relativamente altos de reposición (semanas, meses,...) pero no lo suficiente cuando este período tiende a cero, como ocurre en logísticas con amplio énfasis en servicio. Para probarlo proponemos la discusión que se incluye en anexo.

Se prueba en general que el desvío standard σ para un período menor será dependiente de la raíz cuadrada de la frecuencia/período de reposición como sigue:

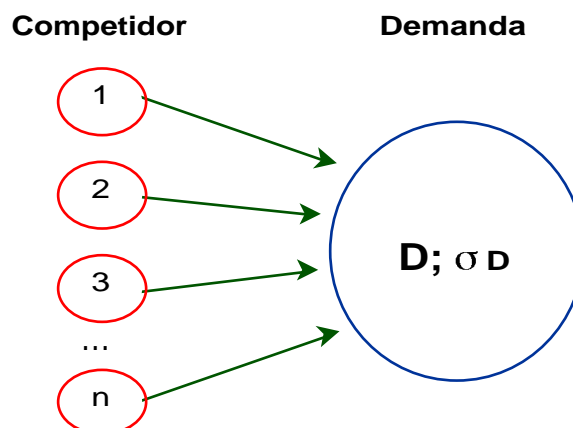
$$\sigma = \frac{\sigma_D}{\sqrt{\text{frec}}} = \sigma_D \cdot \sqrt{T^*}$$

Que podremos reemplazar en la expresión de costo de asegurar servicio:

$$\text{Costo de asegurar servicio} = i \cdot C \cdot N \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{T^*}$$

Decisiones de stock y competencia

Hasta aquí no hemos incluido el aspecto competencia es decir el impacto de n decisores viendo la misma demanda de comportamiento incierto y tomando decisiones de gestión de stocks para servir a la demanda capturada finalmente con un nivel de servicio dado.



Sean n competidores que esperan una participación en la demanda D y que hacen sus propias especulaciones sobre incertidumbre. Cada uno verá

una demanda d_n proporcional a su participación de mercado (SOM_n) percibiendo la dispersión individualmente como sigue:

$$\begin{array}{l} d_1 = SOM_1 \cdot \bar{D} \quad \sigma_1 = \sigma_D \cdot \sqrt{SOM_1} \\ d_2 = SOM_2 \cdot \bar{D} \quad \sigma_2 = \sigma_D \cdot \sqrt{SOM_2} \\ \text{-----} \\ d_n = SOM_n \cdot \bar{D} \quad \sigma_n = \sigma_D \cdot \sqrt{SOM_n} \end{array}$$

si todos los competidores fueron del mismo tamaño relativo:

$$d = \frac{\bar{D}}{n} \quad \sigma_d = \sigma_D \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Esto permite inferir que el sistema mantendría n veces más stock de seguridad con 1, 2, ... o n participantes si el lote o frecuencia de reposición óptimo fueran los mismos. Pero esto no es así.

Hallando el verdadero óptimo

Aceptando la propuesta de un costo total mínimo como criterio de optimización:

Costo total = Costo de reponer + Costo de mantener + Costo de dar servicio = Mínimo

Y operando apropiadamente se puede determinar el tamaño óptimo Q^* , y a través de esta el período ideal de reposición T^* , y los stocks emergentes (de lote y de seguridad) que hacen el costo operativo total para n decisores mínimo, como aquel valor Q que anula la siguiente expresión:

$$-\frac{C_R D}{Q^2} + \frac{n \cdot i \cdot C}{2} \left(1 - N_{\sigma_{D\%}} \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{Q}} \right) = 0$$

Desafortunadamente poco podemos hacer para simplificar la expresión (excepto casos particulares) por lo que no nos queda otro remedio que parametrizar el análisis:

$$-\frac{a}{Q^2} + b \left(1 + \frac{c}{\sqrt{Q}} \right) = 0$$

Parametrización del análisis

Dado que el valor de la frecuencia óptima de reposición, o del tamaño óptimo de compra en este contexto más completo de análisis no puede ser calculado fácilmente y que la dependencia de la variable demanda no es expresable mediante una fórmula, se ha efectuado un análisis variando los siguientes parámetros:

- **Nivel de servicio (N):** Afecta sólo al costo de dar servicio. Su impacto es equivalente al de diferentes valores de desvío standard (incertidumbre) al que multiplica por lo que simularemos sólo N.
- **Número de competidores (n):** Afecta el costo de pedir y el de dar servicio por su impacto en el desvío standard percibido por cada competidor (menos en valor absoluto cuando aumenta n pero mayor en peso relativo respecto de la demanda).
- **Costo de capital (i):** Afecta el costo de mantener y el de dar servicio en forma equivalente al costo del producto (c) al que multiplica por lo que sólo sensibilizaremos el análisis respecto de uno de ellos (i).

Nota: en el caso del costo de reponer (C_R) no se ha parametrizado la variable por anticipar que afecta sólo el costo de reponer impulsando la frecuencia hacia abajo cuando crece como lo anticipa la escuela clásica.

A continuación se puede ver la hoja de cálculo diseñada para producir las relaciones buscadas.

		n = 1		
P	Costo de reponer (\$/ vez)	\$73.6	\$73.6	\$73.6
D	Demanda (Unidades)	1,000,000	10,000,000	20,000,000
n	Número de competidores	1	1	1
t	Costo de mantener (%)	18%	18%	18%
c	Costo del producto (\$/unidad)	\$5.00	\$5.00	\$5.00
N	Nivel de servicio en # de desvíos	2	2	2
S	Desvío standard como % de D	2%	2%	2%
Q	Lóte óptimo de reposición	10,875	30,831	41,732
Cálculo de los costos	CR Costo de reponer	\$6,771.6	\$23,885.2	\$35,258.0
	CM Costo de mantener	\$4,893.7	\$13,873.8	\$18,791.7
	CS Costo de dar servicio	\$3,754.2	\$19,989.2	\$32,904.3
Cálculo de los términos de la derivada	Ter1 Derivada del CR respecto de Q	-0.622684	-0.774722	-0.844000
	Ter2 Derivada del CM respecto de Q	0.450000	0.450000	0.450000
	Ter3 Derivada del CS respecto de Q	0.172608	0.324176	0.393800
	Suma Derivada para costo= mínimo	-0.000076	-0.000546	-0.000237
Valor de la derivada	Slote Stock de lote en unidades	5,437	15,415	20,886
	Sseg Stock de seguridad en unidades	4,171	22,210	36,566
Total	Stock total en unidades	9,609	37,626	57,446

Parametrización

Excel determina el valor de Q que hace cero el valor de la derivada. Al inicio se propone un valor estimado para iniciar la iteración

Stocks en el sistema para los n competidores

Analizando los resultados de la parametrización

Los resultados son por demás valiosos. Para extraerlos proponemos su visualización en el plano stocks – demanda, comparándolos en todos los casos con el propuesto por la matemática previa (la newtoniana en la analogía física). Y lo haremos por parámetro para juzgar uno a uno los componentes del problema real.

Stocks y nivel de servicio:

La primera conclusión a destacar es que los stocks de lote no sólo no permanecen constantes para distintos niveles de servicio como lo propone la escuela clásica, sino que disminuyen cuando crece N . Tampoco los stocks de seguridad son proporcionales a la demanda, sino menos que proporcionales.

Esto conduce a que de dimensionarse los inventarios con acuerdo a la matemática tradicional tendríamos más stocks que los óptimos. Y esta desventaja crece a mayor nivel de servicio y mayor demanda.

Stocks y número de competidores:

En lo que se refiere al modelo operativo que sensibiliza el número de competidores las curvas obtenidas confirman lo adelantado por la escuela clásica, excepto en la correspondencia menos que proporcional entre stock de seguridad y demanda apuntada más arriba.

Ahora bien lo explosivo del crecimiento de los stocks de seguridad nos confirma el costo de la hipercompetencia en materia de inversión. Así sectores altamente fragmentados y de alta competencia en servicio (ej.: medicamentos) deben mantener inversiones enormes por su incapacidad de anticipar la demanda.

Stocks y costo de capital:

Análogo a lo discutido para el número de competidores. Lo notable a destacar en el caso de cadenas de aprovisionamiento complejas es la tendencia a concentrar los stocks en los eslabones más débiles (PyMEs o minoristas) quienes suelen tener un acceso más restringido y un costo de capital más alto, lo que somete al sistema a un equilibrio con costos más altos de los aspirables con una gestión interdependiente de las relaciones en la cadena.

Esta palanca distorsiva en realidad golpea doblemente, promoviendo menos servicio aspirable (porque el costo de pasarse es más alto) y frecuencias más altas que suelen comprometer la capacidad de respuesta y utilizar los recursos logísticos (transportes y almacenes) más pobremente.

Conclusiones:

Como sucede en otros campos los cambios en el ambiente económico y social arrastran tras de sí la necesidad de revisar los conocimientos generalmente aceptados, en este caso las matemáticas asociadas a las decisiones de inventarios, uno de los tópicos centrales de la gestión logística profesional.

En este caso la revisión tiene buenas noticias toda vez que anticipa que los niveles ideales o económicos de inventario son inferiores a los que anticipa la matemática clásica. Estas buenas noticias son mejores para sectores masivos, fragmentados, con alta tasa de servicio deseada, donde los costos de capital varíen a lo largo de la cadena de aprovisionamientos y donde exista vocación para la coordinación sectorial.

Sectores como los farmacéuticos, alimentos y bebidas, construcción, etc. responden al perfil anterior y debieran permitir aspirar a concretar rápidamente las economías que el nuevo nivel de conocimientos permite, toda vez que los premios son mayores y las necesidades de liberar capital de trabajo para aplicaciones más críticas, como desarrollo o sistemas, más acuciantes.

También vemos aplicaciones notables en el plano de la política pública. A los conocidos fenómenos de escala y aprendizaje se suman nuevas palancas que cuantifican el costo de la fragmentación. La competencia no es gratis. Y menos en un país más extenso que rico y con acceso restringido a los capitales.

Como hemos advertido la proliferación de competidores por una misma demanda tiene un efecto explosivo en las inversiones sectoriales. Por ejemplo 12 mil farmacias requieren una inversión del orden de \$1400 millones en stocks para su operación económica y pueden atender la demanda sólo en un 85% de los casos. La mitad de ellas exigiría una inversión de menos de \$1000 millones con una expectativa de servicio del 95%.

Asimismo la forma de competir no impacta del mismo modo las variables relevantes del problema inversión. Que a esas farmacias las atiendan 10 droguerías requiere el stock indicado si no hay exclusiones territoriales. En este contexto de "libre competencia" a cada farmacia llegan tres o más droguerías simultáneamente. Reducir el número a dos sin cambiar las cuotas de mercado reduciría la inversión en un 12% adicional y los costos operativos de contacto dramáticamente.

Esperamos que este trabajo sea recibido favorablemente como un aporte a la discusión sectorial. En esa convicción nos despedimos con una frase de Edward Deming, padre de la moderna concepción de la calidad quien hace ya 50 años apuntaba "No existe lo que se llama sana competencia, lo único sano es la cooperación".

ⁱ El Ing. Raúl Tomé es Presidente de S&T Servicio & Tecnología y Profesor Titular de la Cátedra Dirección de la Producción de La Universidad Católica Argentina. Este artículo fue publicado en la revista *Questión Logística* en Octubre de 2001.