

# Planificación I

## Tema 2

# Gestión de inventario

**Profesor:**

Ricardo Caballero, M.Sc.

✉ [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)



# ¿Qué es la gestión de almacenes?

- Implica el control y coordinación de las actividades diarias dentro de un almacén para asegurar la eficiencia y efectividad de las operaciones de almacén.

Estas operaciones incluyen:

- 🎯 Diseño y optimización del layout del almacén.
- 🎯 Recepción y registro de los bienes que entran en la instalación.
- 🎯 Almacenamiento de los bienes.
- 🎯 Rastreo y localización de los bienes.
- 🎯 Preparación, embalaje y envío de pedidos.
- 🎯 Optimización de procesos internos y mejora del rendimiento general del almacén.

## Importancia del Layout del almacén

- Garantiza eficiencia y productividad en el espacio de trabajo.
- Impacta directamente en la eficiencia y productividad.
- Abarca áreas para recepción, almacenamiento, preparación, embalaje y envío.
- Incluye la ubicación de oficinas dentro del diseño.
- Movimiento seguro y eficaz: Facilita un flujo de trabajo
- Optimiza el acceso a los productos almacenados.
- Reduce el tiempo de recogida y la distancia recorrida, mejorando la tasa de cumplimiento de pedidos.



Tesco DC en Lichfield, West Midlands, Reino Unido

# Hay varios factores a considerar al diseñar un almacén

Factors	Description
<i>Cost/budget</i>	The location, size, capacity, and layout of a warehouse should be evaluated based on the business budget, requirements, and future projection of your business growth.
<i>Capacity utilization</i>	Effective capacity utilization in the warehouse is crucial for operational efficiency as it can help reduce travel distance, pickup time, and inventory visibility, etc. A good layout design should consider how capacity can be utilized most effectively within a warehouse.
<i>Flow</i>	A good layout design should also maintain a smooth flow of goods, vehicles, personnel within a warehouse, avoiding inefficient routes, bottlenecks, and disruptions, etc.
<i>Accessibility</i>	A good layout design should ensure easy accessibility to all areas within a warehouse so that goods can be conveniently located and picked up without having to move other products.
<i>Equipment</i>	Choosing the right types of equipment for scanning, recording, sorting, lifting, conveying, storing, packing can influence productivity and efficiency of warehousing as well as the layout design.
<i>IT</i>	Large warehouses are often enabled with modern technologies. Different IT systems for sensing, tracking, recording, communication, etc. including warehouse management systems, can also impact a warehouse's layout design, and hence the process efficiency and productivity of a warehouse.
<i>Safety</i>	A good layout design should also ensure the safety of employees working in a warehouse by strictly following guidelines and industry standards.

# Warehouse Management Systems (WMS)

- Un **Sistema de Gestión de Almacenes (WMS)** es un sistema de IT que ayuda a controlar, automatizar y optimizar los procesos manuales del almacén desde la entrada hasta la salida de los bienes o materiales.
- Se integran con dispositivos inteligentes y sensores para automatización completa de la recogida, embalaje, etiquetado y despacho de artículos.

Almacenes automatizados de Ocado para comestibles en línea



## Características

- Optimización del diseño del almacén,
- seguimiento y localización de inventario,
- preparación y embalaje de bienes,
- etiquetado e informes.

## Tecnologías

- Internet de las Cosas (IoT) para optimizar la ruta de bienes dentro del almacén y desarrollar una cadena de suministro basada en la demanda real.
- RFID



## Beneficios

- Reducción de errores y papeleo,
- optimización de la utilización de capacidad,
- minimización de errores de picking,
- control de inventario optimizado,
- mejora en eficiencia y productividad,

# Medir y rastrear el rendimiento de la gestión de almacenes es esencial para la mejora continua en un almacén.

## KPIs:

Eficiencia en la recepción.  
Precisión en la selección.  
Costo de mantenimiento.  
Rotación de inventario.

Tiempo de espera de pedido.  
Entrega a tiempo (OTD).  
Tasa de retorno.  
Tasa de agotamiento de stock.

- Precisión en la cumplimentación de pedidos.
- Velocidad en la cumplimentación de pedidos.
- Costo de cumplimentación de pedidos.



Diseño de múltiples niveles de un almacén

# ¿Qué es el inventario?

Bienes almacenados en un almacén, incluyendo materias primas, productos semiterminados y terminados.

## ■ **Formas de Inventario:**

También incluye clientes, información y datos en la industria de servicios.

## ■ **Costos Asociados:**

Los inventarios tienen costos directos e indirectos, como inversión de capital, almacenamiento, y riesgos de obsolescencia.

## ■ **Gestión Efectiva:**

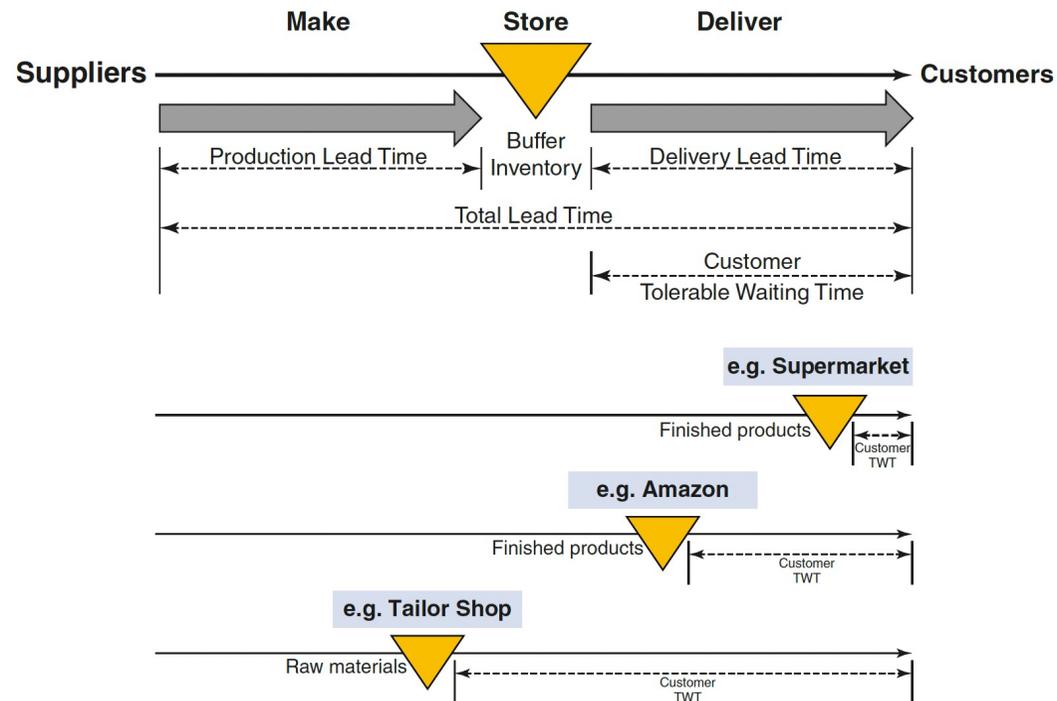
Es esencial reducir los inventarios innecesarios para evitar costos y riesgos sin interrumpir operaciones.

## Ejemplos

Operations	Inventory examples
<i>Fast food restaurant</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ingredients for burgers, food, etc.</li><li>• Customers waiting for placing orders</li><li>• Order information recorded in the ordering system</li></ul>
<i>University</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Current students studying a course</li><li>• New student applications to be processed</li><li>• Students attending degree congregations each year</li></ul>
<i>Car manufacturer</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Components, parts, materials, etc.</li><li>• Customer order information with configuration requirements</li><li>• Finished cars waiting to be shipped</li></ul>
<i>Bank</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Customer queueing for banking services</li><li>• Mortgage applications to be processed</li><li>• Cash notes stored in a bank</li></ul>
<i>Cinema</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Audience waiting to enter cinema theatres</li><li>• Films in stock to be played</li><li>• Audience watching movies</li></ul>
<i>Airport</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Passengers</li><li>• Flights that are arriving, landed, and departing</li><li>• Flights information, passenger details, etc.</li></ul>
<i>Newspaper publisher</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• News/stories to be edited for publishing</li><li>• Papers stocked for newspaper printing</li><li>• Printed newspapers to be distributed</li></ul>

# Inventario como un amortiguador en la cadena de suministro

- **Necesidad de Inventario:** A pesar de los costos, las empresas necesitan inventario para operar eficientemente.
- **Función de "Buffer":** El inventario actúa como un amortiguador entre la producción y la necesidad del cliente.
- **Reducción del Tiempo de Espera:** Ayuda a acortar el tiempo de espera del cliente manteniendo suministros adecuados.
- **Adaptación a Tolerancias de Espera:** Diferentes negocios, como supermercados y Amazon, gestionan sus inventarios basados en la tolerancia de espera de sus clientes.



# Políticas de inventario en cadenas de suministro

Determinan **cuánto** y **cuándo** se debe **ordenar (o producir)** un producto.

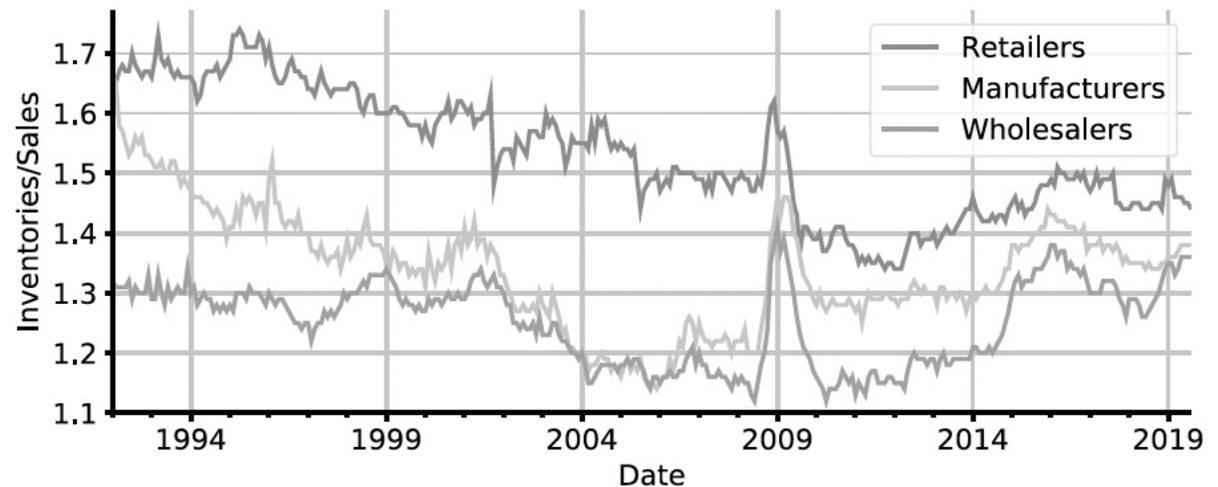
Las políticas dictan cómo fluyen los productos a través de una cadena de suministro.

## Tipos de Políticas:

- **Revisión Continua:** Las órdenes pueden realizarse en cualquier momento.
- **Revisión Periódica:** Las órdenes solo pueden realizarse en momentos específicos.

Una política puede ser definida por diferentes **parámetros**:

- el nivel hasta el cual ordenar **S**
- el período de revisión **R**
- la cantidad de pedido **Q**
- el punto de reorden **s**



# Política 1: Revisión Continua y Punto de Reorden (s,Q)

- (s, Q) Una política de revisión continua con un punto de reorden s y una cantidad de pedido fija Q.
- Pedido basado en un umbral fijo. Al alcanzar o bajar del punto de reorden, se solicita una cantidad predefinida de unidades.
- **Constante en Cantidad de Pedido:** La cantidad de pedido es siempre la misma, aunque el tiempo entre pedidos varíe.

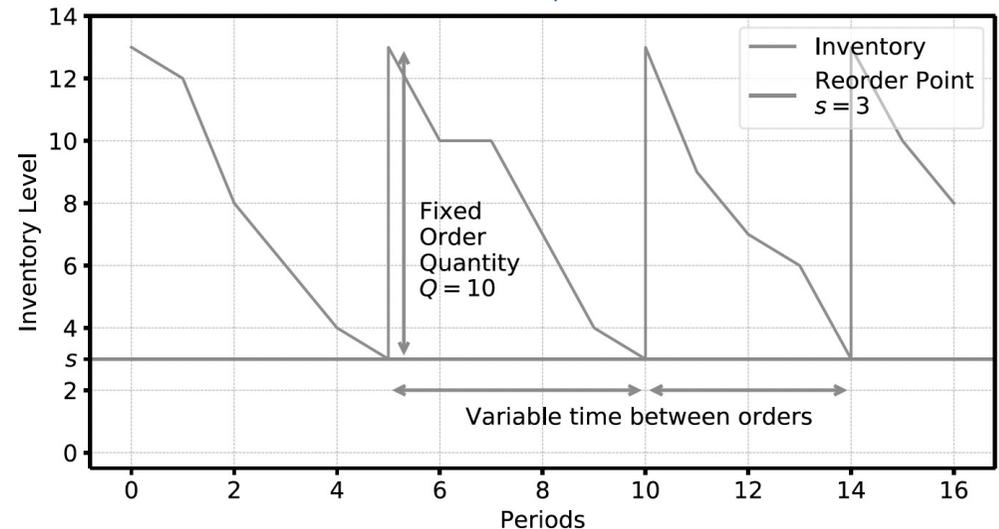
## Ventajas

- **Seguridad:** Bajo riesgo de desabastecimiento ya que se puede pedir en cualquier momento.
- **Optimización de Pedidos:** Posibilidad de ajustar la cantidad de pedido basada en restricciones o costos, como descuentos por pedidos grandes.

## Limitaciones

- No permite agrupar en un solo pedido varios artículos de un único proveedor.
- No siempre se puede pedir en cualquier momento debido a las políticas del proveedor.

Política de punto de reorden fijo (con reabastecimiento inmediato):  
"Pedir 10 cuando queden menos de 3".



# Ejemplo: Revisión Continua y Punto de Reorden (s,Q)

→ Cuando el nivel de stock alcanza 3 piezas, pido 10.

Aquí, el punto de reorden fijo es 3, y la cantidad de pedido es 10 (ver Figura).

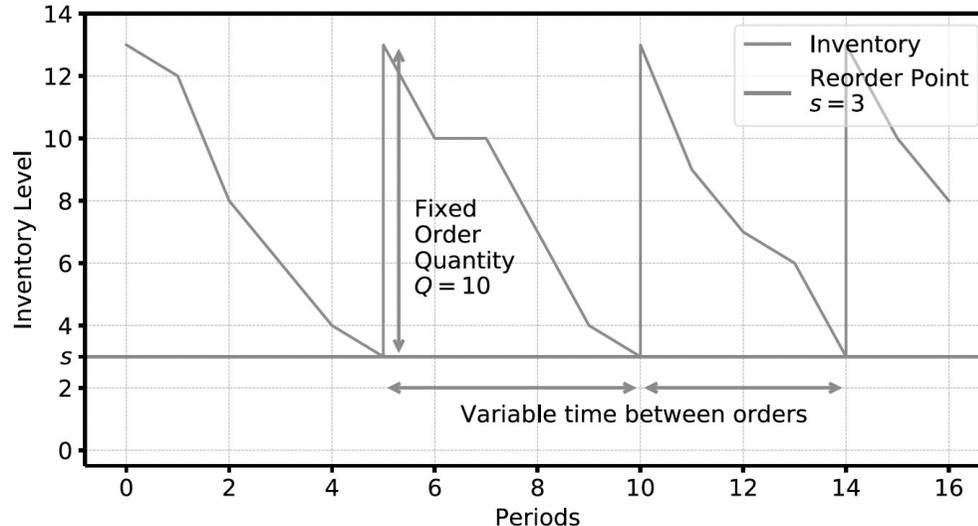
Nota que, incluso si solo tienes 2 piezas en stock, aún así solo pedirás 10 piezas.

Recuerda: con el punto de reorden fijo, la cantidad de pedido (10 en este caso) siempre es fija.

→ Tan pronto como me queden 2 botellas de leche en mi refrigerador, iré al supermercado y compraré 6.

→ Cuando mi impresora indique que solo me queda un 10% de tinta, pediré un nuevo conjunto de cartuchos.

Política de punto de reorden fijo (con reabastecimiento inmediato):  
"Pedir 10 cuando queden menos de 3".

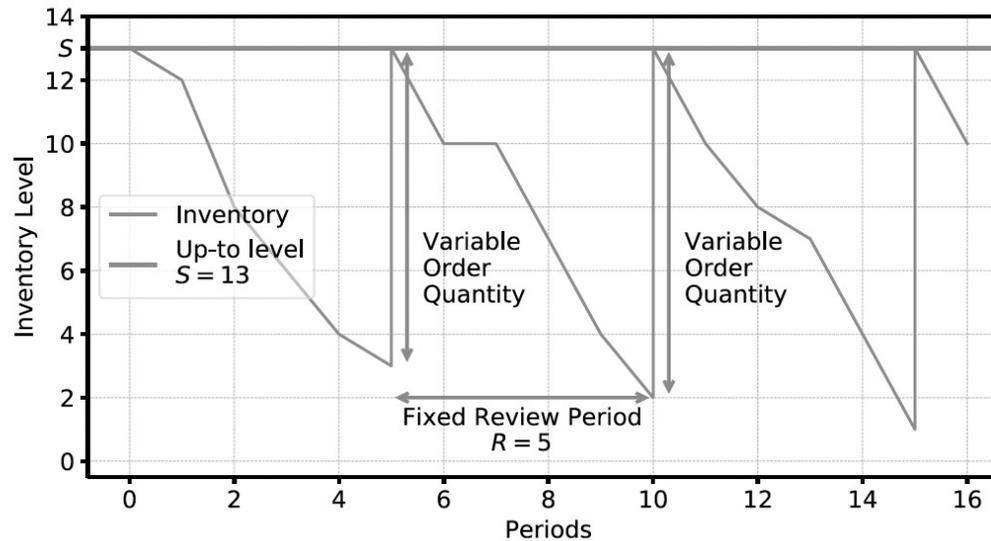




# Ejemplo: Revisión Periódica y Nivel de Pedido Máximo (R, S)

- Hacemos un pedido cada viernes por la tarde a nuestro proveedor, para que puedan preparar nuestro pedido el lunes por la mañana y entregarlo el martes.
- Hacemos un pedido cada tercer día hábil del mes con nuestro proveedor en China.
- Voy al supermercado todos los sábados por la mañana. Compro suficientes botellas de leche para tener un stock total de 6 litros.

Política de período de revisión fijo (con reabastecimiento inmediato):  
"Pedir hasta 13 cada 5 días."



# Política 3: Revisión Periódica, Punto de Reorden y Cantidad de Pedido Fija (R, s, Q)

- (R, s, Q) Una política de revisión periódica que sigue un período de revisión R, con un punto de reorden s y una cantidad de pedido fija Q.

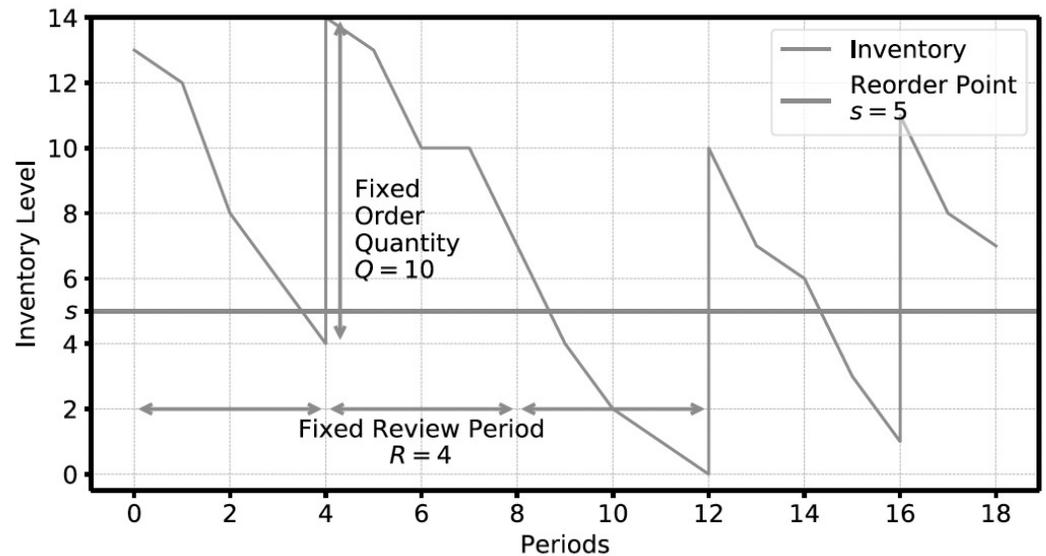
## Ventajas

- La cantidad constante permite optimizar la logística de transporte y empaque (p. ej., palet completo, carga de camión completa)
- Se realizan siempre en un intervalo de tiempo predefinido, facilitando operaciones y agrupación de pedidos

## Limitaciones

- El período de revisión puede impedir realizar pedidos cuando son necesarios y solo se hace un pedido si se alcanza un umbral específico
- Esto se traduce en niveles de inventario y costos más altos
- Debido a la complejidad, esta política se optimiza con simulaciones, no tanto en la literatura académica.

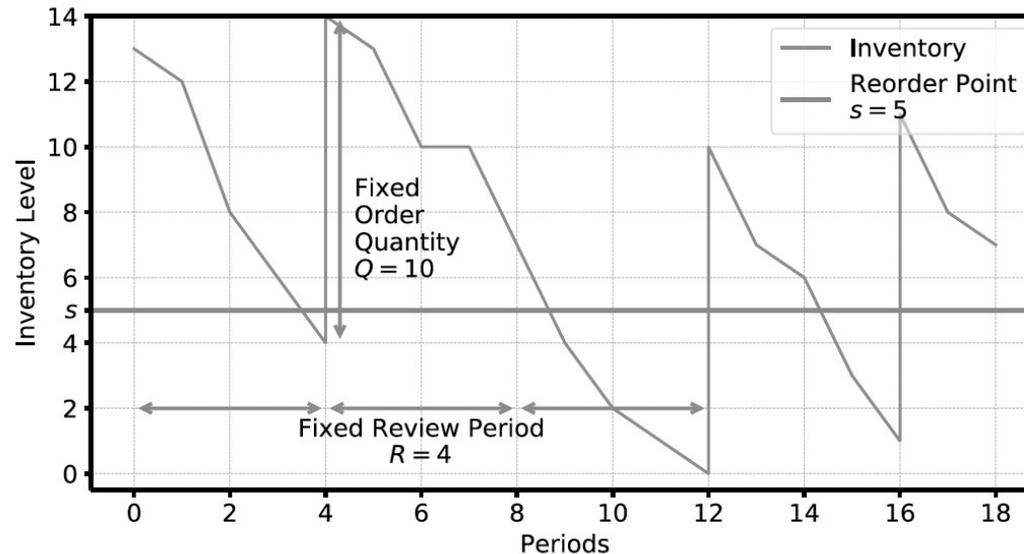
Revisión periódica con punto de reorden y cantidad de pedido fija:  
"Pedir 10 piezas cada 4 días solo si el nivel de inventario alcanza 5 piezas."



# Ejemplo: Revisión Periódica, Punto de Reorden y Cantidad de Pedido Fija (R, s, Q)

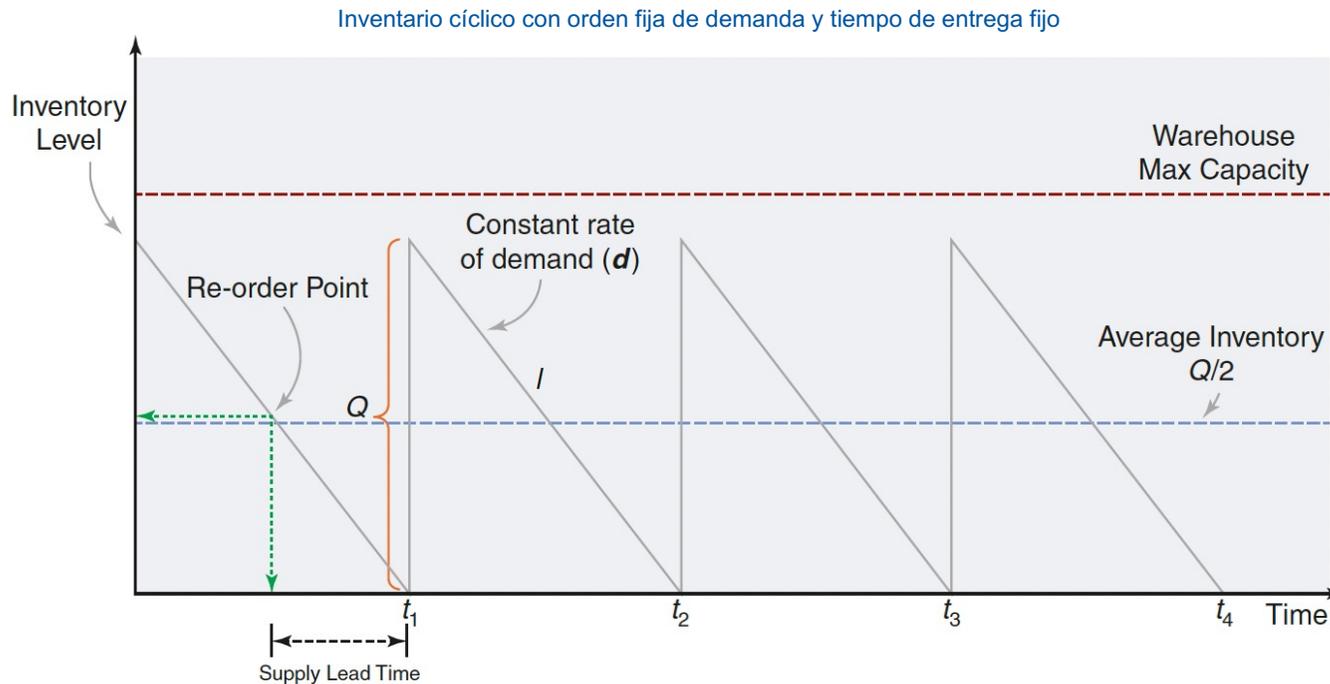
- Cada sábado, si tengo menos de 2 botellas de leche en mi refrigerador, voy al supermercado a comprar 6 botellas de leche.
- Cada viernes por la noche, si nuestro inventario neto alcanza 10 unidades (o menos), hacemos un pedido de 10 piezas a nuestro proveedor (pedimos 10 piezas debido al empaquetado). Hacemos el pedido el viernes, para que el proveedor pueda preparar el pedido el lunes por la mañana y entregarlo el martes.

Revisión periódica con punto de reorden y cantidad de pedido fija:  
"Pedir 10 piezas cada 4 días solo si el nivel de inventario alcanza 5 piezas."



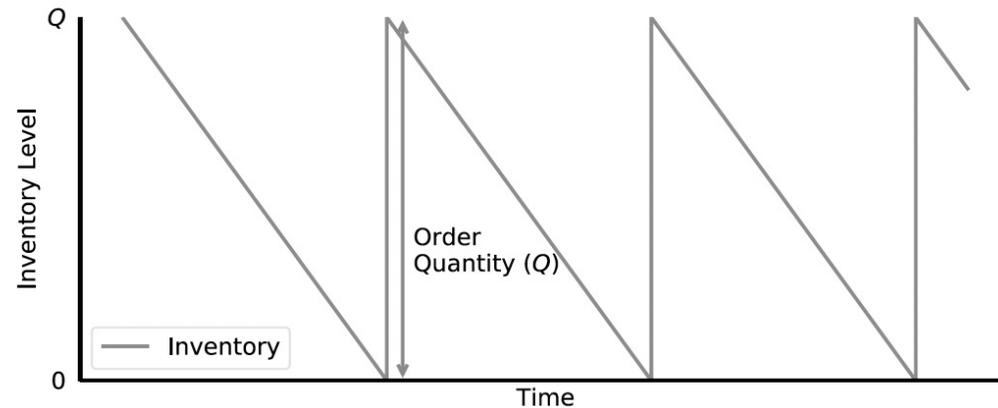
# Cuánto debería ordenar?

- Decisión sobre el número de unidades o cantidad a comprar a los proveedores.
- **Para Pequeñas Empresas:** La decisión se basa en la experiencia y registros de ventas anteriores. Si los proveedores están cerca y pueden ofrecer entregas rápidas y flexibles, determinar la cantidad correcta de pedido no es complicado.
- **Para Grandes Organizaciones:** Con numerosos y complejos SKUs, determinar cuánto ordenar es más desafiante. Se consideran múltiples factores, incluyendo el tiempo de entrega y la demanda constante.



# Cantidad Económica de Pedido (EOQ)

- **EOQ (Cantidad Económica de Pedido):** La cantidad óptima de pedido que una empresa debería comprar cada vez a sus proveedores para minimizar los costos totales de inventario, considerando tanto los costos de mantenimiento como los costos de pedido.
- **Costos de Mantenimiento:** Pueden incluir costos de almacenamiento, costos financieros como intereses y costo de oportunidad, y costos relacionados con el inventario como seguros, obsolescencia y merma.
- **Costos de Pedido:** Pueden incluir costos por manejo de transporte y envío, costos administrativos como procesamiento de facturas y costos de comunicación, cargos relacionados con importación y exportación.



$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

$Q$  = Número de unidades por orden  
 $Q^*$  = Número óptimo de unidades a ordenar (EOQ)  
 $D$  = Demanda anual en unidades para el artículo en inventario  
 $S$  = Costo de ordenar o de preparación para cada orden  
 $H$  = Costo de mantener o llevar inventario por unidad por año

$$\text{Costo anual de almacenamiento} = \frac{Q}{2}H$$

$$\text{Costo de pedido anual} = \frac{D}{Q}S$$

$$\text{Costo Total: } CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

# Extensiones del modelo EOQ: Modelo con Tasa de Producción

- **Tasa de Producción:** En la mayoría de las cadenas de suministro, el proceso de producción no es instantáneo, sino que está limitado a un rendimiento máximo.
- **EOQ con Tasa de Producción:** Al optimizar el EOQ para un proceso de producción interno, se debe tener en cuenta esta limitación.
- La tasa de producción  $r$  se expresa en unidades producidas por período. La demanda por período se nota  $d$ . Se define la relación de rendimiento de producción  $\rho$  como:  $\rho = 1 - d/r$ .

*Cantidad óptima de producción*

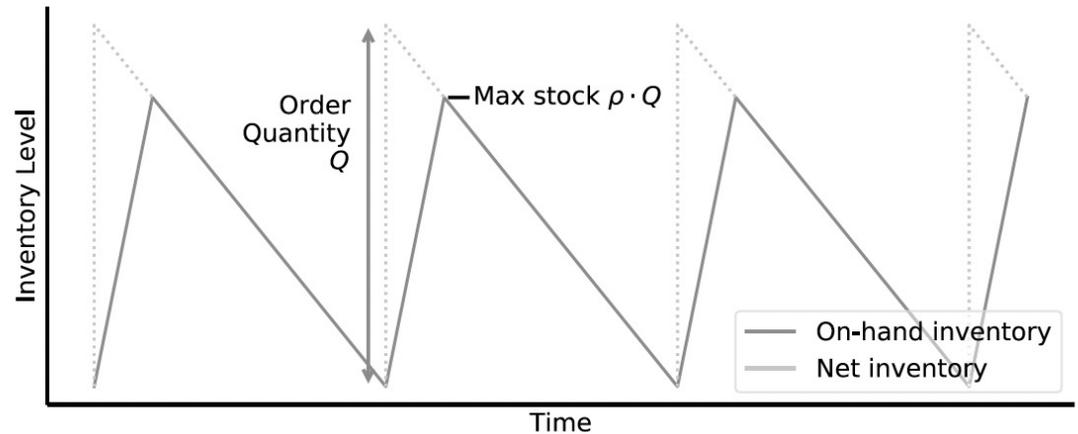
$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H\left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

$Q$  = número de piezas por orden o de corrida de producción  
 $S$  = costo por preparación  
 $H$  = costo anual por almacenar por unidad  
 $p$  = tasa de producción diaria  
 $P$  = tasa de producción anual  
 $d$  = tasa de demanda diaria  
 $D$  = tasa de demanda anual  
 $t$  = magnitud de la corrida de producción en días

$$\text{Costo anual de almacenamiento} = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) H$$

$$\text{Costo anual de instalación} = \frac{D}{Q} S$$

$$\text{Costo anual total} = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) H + \frac{D}{Q} S$$



# Extensiones del modelo EOQ: Modelo con Tasa de Producción

- **Backorders:** Permitir faltantes en ciertas condiciones puede ser óptimo para minimizar costos totales, en lugar de apuntar a un nivel de servicio del 100%.
- B es el número máximo de faltantes permitidos.
- El nivel máximo de inventario es  $Q - B$ .
- El nivel mínimo neto de inventario es  $-B$ .
- Un ciclo de pedido dura  $T = Q/D$  (recuerda D es la demanda anual). Una primera fase donde el inventario en mano está disponible. Una segunda fase donde el nivel neto de inventario es inferior a 0. Durante esta fase tenemos faltantes porque no podemos satisfacer la demanda directamente desde el inventario en mano.

Costo total anual

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{(Q - B)^2}{2Q}H + \frac{B^2}{2Q}b$$

Cantidad económica de pedido

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H} \left( \frac{H + b}{b} \right)}$$

Faltantes planeados

$$B = Q \left( \frac{H}{H + b} \right)$$

Duración del inventario en mano

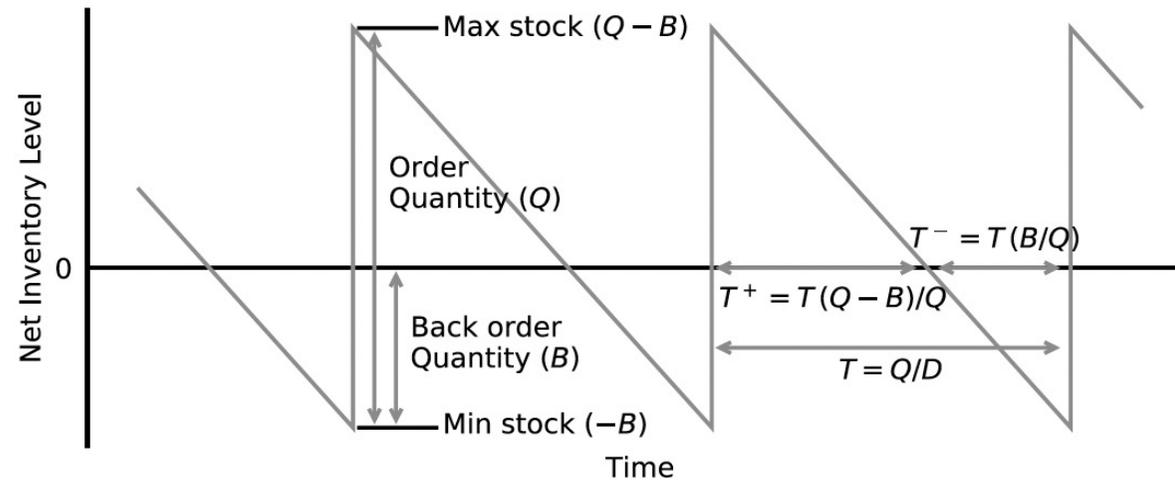
$$t_1 = \frac{Q - B}{d}$$

Duración de la parte de pedido pendiente en el inventario

$$t_2 = \frac{B}{d}$$

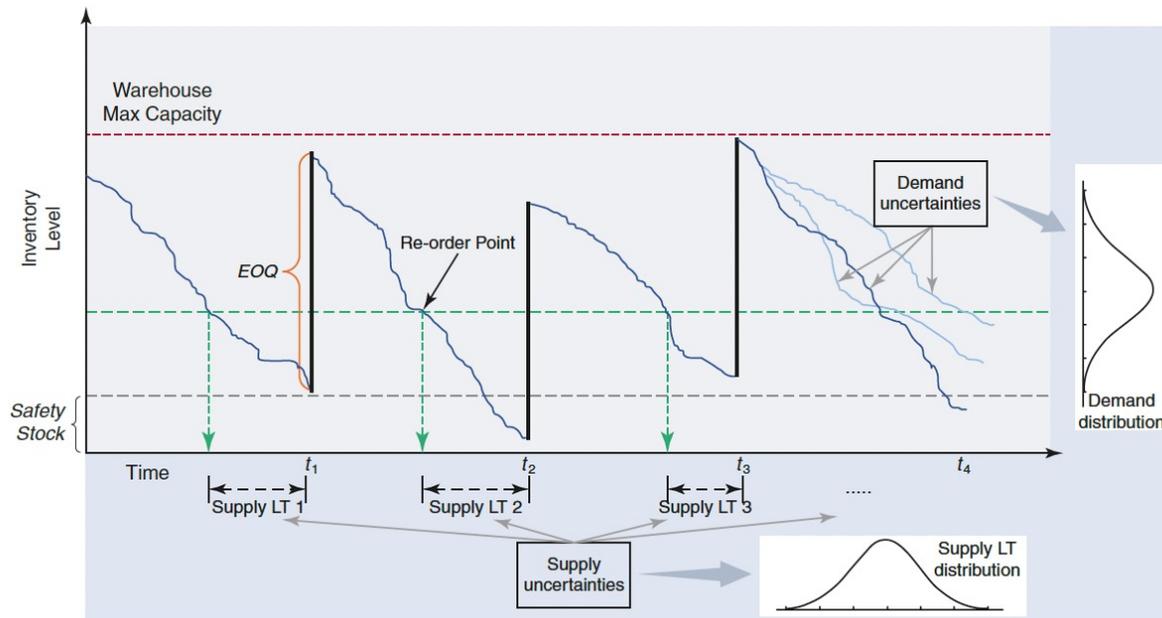
Tiempo de ciclo

$$T = \frac{Q}{d}$$



# Cuándo ordenar?: inventario de seguridad

- **¿Cuándo Ordenar?:** Identificar el momento óptimo para hacer pedidos considerando el tiempo de entrega (lead time) y el período de revisión.
- **Tiempo de Entrega:** Intervalo fijo entre hacer un pedido y su recepción, influyendo directamente en nuestra política de inventario.
- **Inventario en Tránsito:** La cantidad esperada de inventario en tránsito es la demanda durante el tiempo de entrega.
- **Stock de Seguridad:** Utilizado para cubrir incertidumbres y prevenir faltantes.
- **Desafíos de la Variabilidad:** La variabilidad en la demanda y el suministro presenta desafíos en la gestión de inventarios.
- **Fórmula del Stock de Seguridad:** Debe tener en cuenta la variabilidad tanto del lado de la demanda como del suministro



# Cuándo ordenar?: Inventario de seguridad

1. La fórmula del stock de seguridad debería tener en cuenta la **variabilidad** tanto del lado de la **oferta** como de la **demanda**, lo cual puede expresarse de la siguiente manera

$$\text{Safety stock} = Z \times \sqrt{(LT_{\text{avg}} \times \sigma_D^2) + (\sigma_{LT} \times D_{\text{avg}})^2}$$

where

$Z$  is the  $Z$ -score (i.e., standard score),

$LT_{\text{avg}}$  is the average lead time from the supply side,

$\sigma_D$  is the standard deviation of demand distribution,

$\sigma_{LT}$  is the standard deviation of lead time,

$D_{\text{avg}}$  is the average demand per lead-time unit (e.g., per day).

2. Si **no hay variabilidad en el tiempo de entrega**, en otras palabras, si los proveedores siempre pueden realizar entregas a tiempo, entonces la desviación estándar del tiempo de entrega será cero, es decir,  $\sigma_{LT} = 0$ , la ecuación del stock de seguridad cambiará a

$$\text{Safety stock} = Z \times \sqrt{(LT_{\text{avg}} \times \sigma_D^2)}$$

3. De igual manera, si la **demanda es siempre cierta y estable**, entonces  $\sigma_D = 0$ , y la ecuación cambiará a

$$\begin{aligned} \text{Safety stock} &= Z \times \sqrt{(\sigma_{LT} \times D_{\text{avg}})^2} \\ &= Z \times \sigma_{LT} \times D_{\text{avg}} \end{aligned}$$

**Si queremos alcanzar un nivel más alto de servicio al cliente (es decir, reducir la posibilidad de tener desabastecimientos), entonces necesitamos tener un valor  $Z$  más alto y, por lo tanto, más stock de seguridad, y viceversa.**

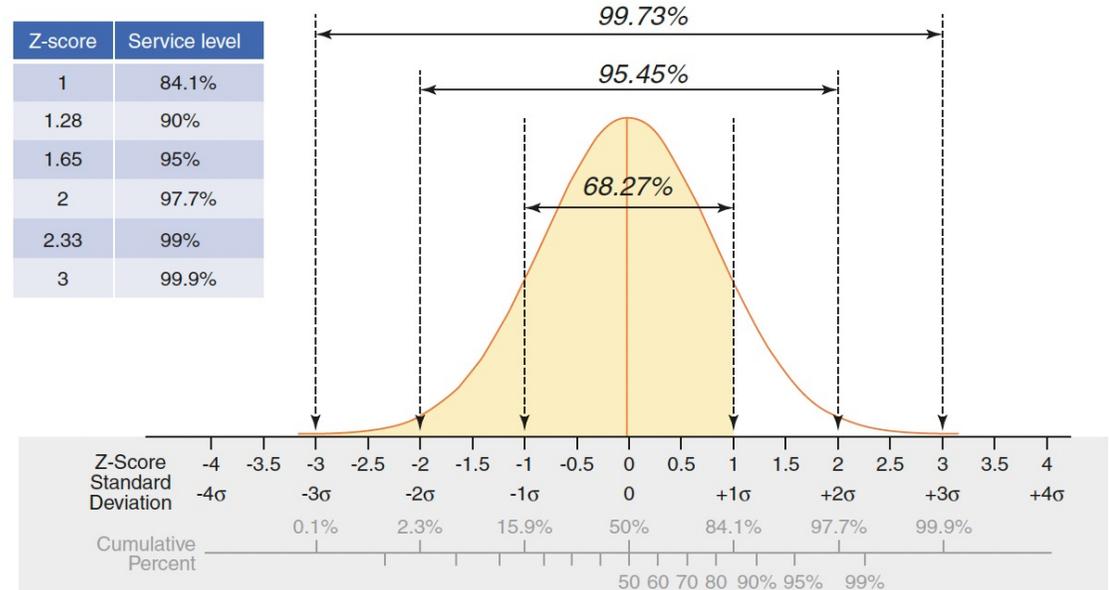
# Cuándo ordenar?: Inventario de seguridad

Para entender el puntaje Z, observe la distribución normal estándar como se muestra en la Figura. Estadísticamente, un puntaje Z mide cuánto se desvía un punto de datos de la media. Por ejemplo, en  $+1\sigma$ , el puntaje Z es 1.

La desviación estándar  $\sigma$  es una medida de qué tan dispersos están los datos. Aproximadamente, el 68.27% de todos los valores de datos caen dentro de  $1\sigma$  de la media, el 95.45% de los valores están dentro del rango de  $2\sigma$ , y el 99.73% caen dentro del rango de  $3\sigma$ .

Acumulativamente, si el puntaje Z es 1, cubre alrededor del 84.1% de todos los valores de datos, y si el puntaje Z es 3, puede cubrir alrededor del 99.9% de los valores, es decir, cuanto mayor es el puntaje Z, mayor es el rango de valores de datos que cubre. Entonces, si tienes datos de demanda distribuidos normalmente, para satisfacer potencialmente el 90% de la demanda, necesitarás tener un puntaje Z de aproximadamente 1.28. Esta es la razón por la cual hay un puntaje Z en la fórmula del stock de seguridad.

Básicamente, si queremos alcanzar un nivel más alto de servicio al cliente (es decir, reducir la posibilidad de tener desabastecimientos), entonces necesitamos tener un puntaje Z mayor y, por lo tanto, más stock de seguridad, y viceversa.



# Cuándo ordenar?: Punto de reorden

---

- **¿Cuándo Ordenar?:** La calculación del stock de seguridad y el modelo EOQ ayudan a resolver la pregunta de "cuánto ordenar" en la gestión de inventarios. Otra pregunta importante es "¿cuándo ordenar?".
- **Enfoques Básicos:** Si el inventario se monitorea continuamente, y cuando el nivel de inventario cae a cierto punto, se activará la reposición para que los nuevos stocks lleguen antes de que el inventario llegue a cero. Este punto de activación para la reposición de inventario se llama Punto de Reorden (ROP).
- **Cálculo del ROP:** Para calcular el ROP, necesitamos tener en cuenta las incertidumbres tanto del lado de la oferta como de la demanda, así como la demanda total durante el período promedio de tiempo de entrega de la oferta.

$$\text{ROP} = D_{\text{avg}} \times \text{LT}_{\text{avg}} + \text{Safety stock}$$

El valor de D y LT varia dependiendo si son constantes o variables

# Conteo cíclico en gestión de inventario

- Método para verificar la precisión del inventario a través del recuento periódico de una fracción del inventario.

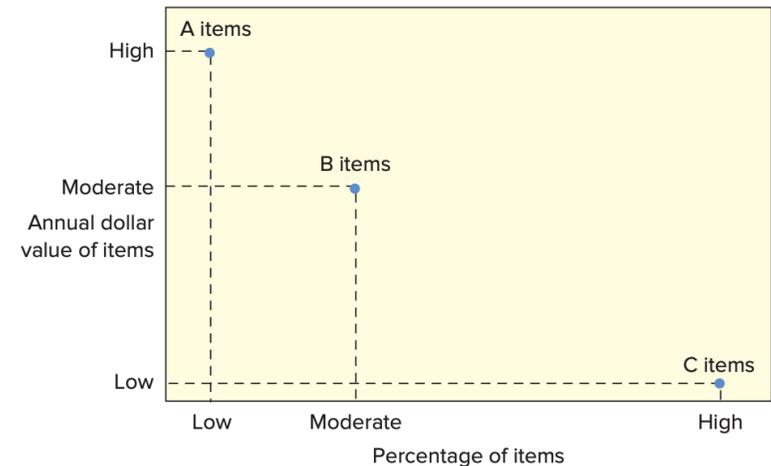
## Objetivos

- 🎯 Aumentar la exactitud de los registros de inventario.
- 🎯 Minimizar interrupciones en las operaciones diarias.
- 🎯 Evitar recuentos totales disruptivos y costosos



## Beneficios:

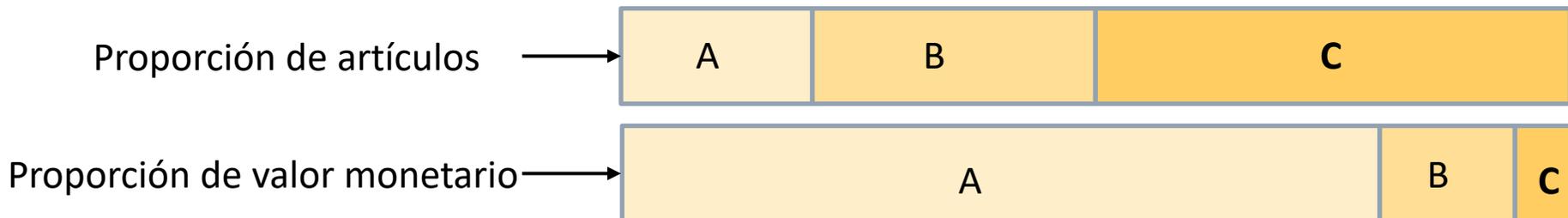
- ✚ Identificación y corrección proactiva de errores.
- ✚ Mantiene registros actualizados y precisos.
- ✚ Optimización del uso de recursos en la gestión de inventarios.



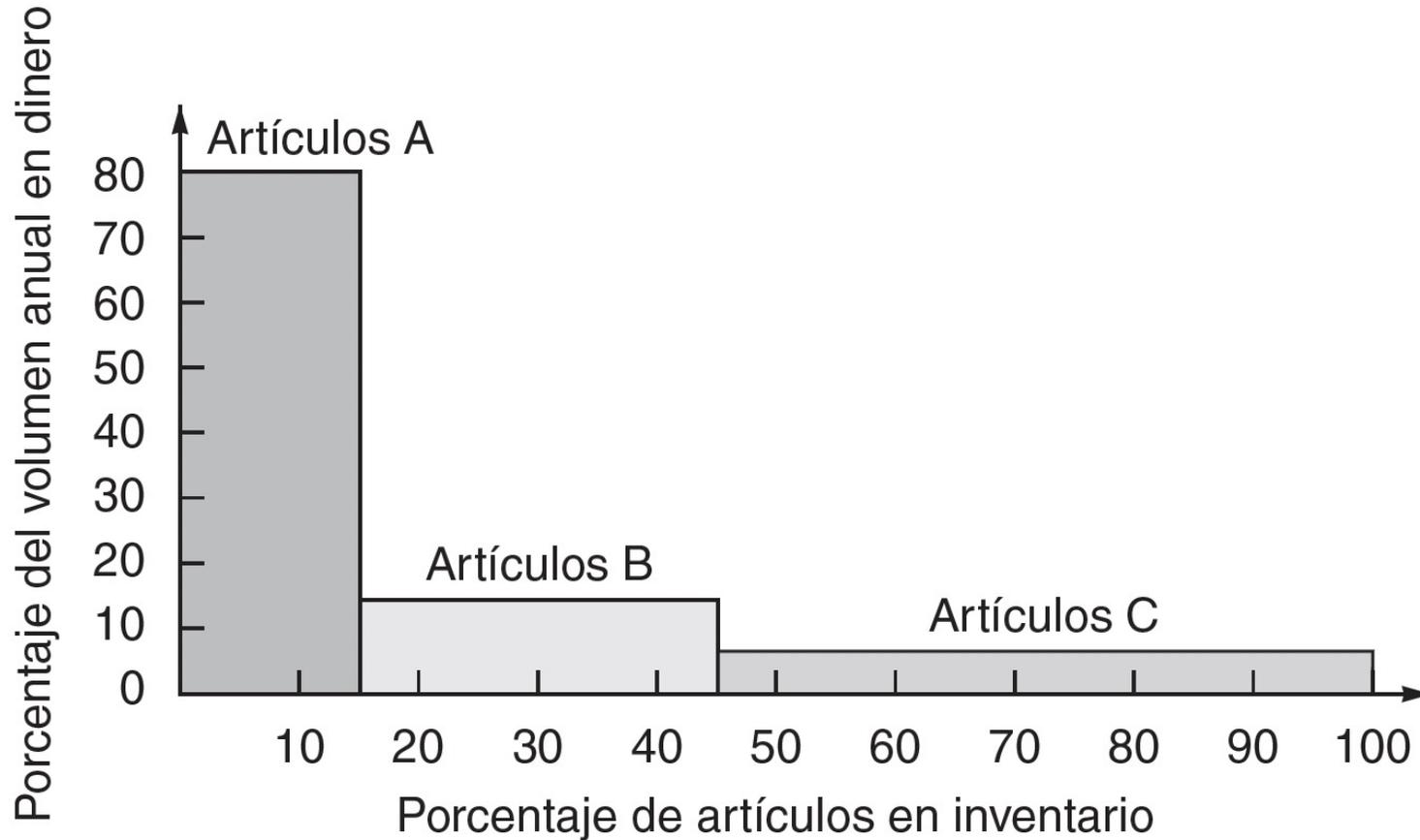
# Conteo cíclico en gestión de inventario: Modelo de inventario ABC

- Clasifica el inventario de acuerdo a algún criterio de importancia y asigna los esfuerzos de control correspondientes.
- Basado en el concepto de Pareto (regla del 80/20) y el uso total en dólares de cada artículo.
- Divide el inventario en tres clases basadas en el volumen anual en dólares:

Artículos clase	<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Alta frecuencia (ej. Mensual)</li><li>▪ 20% de los SKU, 80% del volumen en dólares</li></ul>
Artículos clase	<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Frecuencia media (ej. semestral)</li><li>▪ 30% de los SKU, 15% del volumen en dólares</li></ul>
Artículos clase	<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Baja frecuencia (ej. anual)</li><li>▪ 50% de los SKU, 5% del volumen en dólares</li></ul>



# Conteo cíclico en gestión de inventario: Modelo de inventario ABC



## Ejemplo: Modelo de inventario ABC

---

Para las siguientes mercancías, calcule los valores de uso de los SKU y determine la clasificación basado en el Método ABC

SKU	Descripción	Cantidad utilizada por año	Valor unitario (\$)
1	Cajas	500	3
2	Carton	18000	0.02
3	Cubiertas	10000	0.75
4	Pegamento	75	40
5	Cubiertas interiores	20000	0.05
6	Cinta adhesiva	3000	0.15
7	Diseños	150000	0.45

## Ejemplo: Modelo de inventario ABC

SKU	Descripcion	Cantidad utilizada por año	Valor unitario (\$)	Valor de uso anual (\$)	% Uso Anual (\$)	%Acumulado del valor en \$	CLASE	% SKU	%ACUM SKU	%
7	Diseños	150000	0.45	\$ 67,500.00	83.02%	83.02%	A	14.29%	14.29%	14.29%
3	Cubiertas	10000	0.75	\$ 7,500.00	9.22%	92.24%	B	14.29%	28.57%	28.57%
4	Pegamento	75	40	\$ 3,000.00	3.69%	95.93%	B	14.29%	42.86%	
1	Cajas	500	3	\$ 1,500.00	1.84%	97.77%	C	14.29%	57.14%	57.14%
5	Cubiertas interiores	20000	0.05	\$ 1,000.00	1.23%	99.00%	C	14.29%	71.43%	
6	Cinta adhesiva	3000	0.15	\$ 450.00	0.55%	99.56%	C	14.29%	85.71%	
2	Carton	18000	0.02	\$ 360.00	0.44%	100.00%	C	14.29%	100.00%	
		201575		\$ 81,310.00						

## Ejemplo: Modelo de inventario ABC

---

FABRICA SA es una gran fábrica de plásticos moldeados por inyección basada en Chiriquí. Una investigación sobre la instalación manufacturera de la compañía genera la información que se presenta en la tabla siguiente. ¿Cómo clasificaría la planta estos artículos de acuerdo con el sistema de clasificación ABC?

SKU	Inventario Promedio (unidades)	Valor (\$/unidad)
1289	400	3.75
2347	300	4
2349	120	2.5
2363	75	1.5
2394	60	1.75
2395	30	2
6782	20	1.15
7844	12	2.05
8210	8	1.8
8310	7	2
9111	6	3

## Ejemplo: Modelo de inventario ABC

FABRICA SA es una gran fábrica de plásticos moldeados por inyección basada en Chiriquí. Una investigación sobre la instalación manufacturera de la compañía genera la información que se presenta en la tabla siguiente. ¿Cómo clasificaría la planta estos artículos de acuerdo con el sistema de clasificación ABC?

Dollar Volume Rank	Item	Volume	Unit Cost (B/.)	Dollar Volume	Percent of Dollar Volume	Cum Percent of Dollar Volume	Category
1	1289	400	3.75	B/. 1,500.00	44.49%	44.49%	A
2	2347	300	4	B/. 1,200.00	35.59%	80.08%	A
3	2349	120	2.5	B/. 300.00	08.90%	88.98%	B
4	2363	75	1.5	B/. 112.50	03.34%	92.32%	B
5	2394	60	1.75	B/. 105.00	03.11%	95.43%	C
6	2395	30	2	B/. 60.00	01.78%	97.21%	C
7	7844	12	2.05	B/. 24.60	00.73%	97.94%	C
8	6782	20	1.15	B/. 23.00	00.68%	98.62%	C
9	9111	6	3	B/. 18.00	00.53%	99.16%	C
10	8210	8	1.8	B/. 14.40	00.43%	99.58%	C
11	8310	7	2	B/. 14.00	00.42%	100.00%	C
Total				B/. 3,371.50			

La empresa puede realizar las siguientes clasificaciones:

- **A:** 1289, 2347 (18% de los artículos; 80% del volumen en dólares).
- **B:** 2349, 2363, 2394, 2395 (36% de los artículos; 17.2% del volumen en dólares).
- **C:** 6782, 7844, 8210, 8310, 9111 (45% de los artículos; 2.7% del volumen en dólares).

# Método Silver Meal

- Válido sólo cuando el costo de producción unitario es constante e idéntico para todos los periodos. Por esta razón solo se balancean los costos de preparación y retención
- Se puede calcular el tamaño de lote económico durante una situación dinámica
- Identifica los periodos futuros sucesivos cuya demanda puede ser satisfecha a partir de la producción del periodo actual.
- Suponga que se produce en el periodo  $i, i + 1, \dots$  y  $t, i \leq t$  y se define  $TC(i, t)$  como los costos de preparación y por mantener asociados para los mismos periodos

$$TC(i, t) \begin{cases} S_i, & t = 1 \\ S_i + H_i D_{i+1} + (H_i + H_{i+1}) D_{i+2} + \dots + \left( \sum_i^{t-1} H_i \right) D_t, & t > i \end{cases}$$

- Luego se define  $TCU(i, t)$  como el costo por periodo asociado

$$TCU(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1}$$

$D_i$  = tasa de demanda  
 $S_i$  = costo de preparación  
 $H_i$  = costo por mantener  
 $t$  = periodo

## Ejemplo: Silver Meal

---

- Encuentre la política de inventario óptima para la siguiente situación de inventario de 6 periodos
- El costo de producción unitario es de \$2 para todos los periodos

Periodo $t$	$D_i(\text{unidades})$	$S_i(\$)$	$H_i(\$)$
1	10	20	1
2	15	17	1
3	7	10	1
4	20	18	3
5	13	5	1
6	25	50	1

## Ejemplo: Silver Meal

- $i = 1$

$$t = 1$$

$$TC(i, t) = S_i$$

$$TC(1, 1) = S_1 = \$20$$

$$TCU(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1}$$

$$TCU(1, 1) = \frac{TC(1, 1)}{1 - 1 + 1}$$

$$TCU(1, 1) = \frac{\$20}{1} = \$20$$

$$t = 2$$

$$TC(i, t) = TC(i, t - 1) + \left( \sum_i^{t-1} H_i \right) D_t$$

$$TC(1, 2) = TC(1, 2 - 1) + \left( \sum_1^{2-1} H_1 \right) D_2$$

$$TC(1, 2) = \$20 + (\$1)\$15$$

$$TC(1, 2) = \$35$$

$$TCU(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1}$$

$$TCU(1, 2) = \frac{TC(1, 2)}{2 - 1 + 1}$$

$$TCU(1, 2) = \frac{\$35}{2} = \$17.50$$

## Ejemplo: Silver Meal

---

- $i = 1$

$t = 3$

$$TC(i, t) = TC(i, t - 1) + \left( \sum_i^{t-1} H_i \right) D_t$$

$$TC(1, 3) = 35 + (1 + 1)7$$

$$TC(1, 3) = \$49$$

$$TCU(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1}$$

$$TCU(1, 3) = \frac{49}{3 - 1 + 1}$$

$$TCU(1, 3) = \$16.33$$

$t = 4$

$$TC(i, t) = TC(i, t - 1) + \left( \sum_i^{t-1} H_i \right) D_t$$

$$TC(1, 4) = 49 + (1 + 1 + 1)20$$

$$TC(1, 4) = \$109$$

$$TCU(i, t) = \frac{TC(i, t)}{t - i + 1}$$

$$TCU(1, 4) = \frac{109}{4 - 1 + 1}$$

$$TCU(1, 4) = \$27.25$$

## Ejemplo: Silver Meal

---

Determine el mínimo local  $t^*$  satisfaciendo la siguiente condición

- $TCU(i, t + 1) \geq TCU(i, t)$
- $27.25 \geq 16.33$
- Por consiguiente se debe producir  $10+15+7 = 32$  unidades en el periodo 1 para satisfacer los periodos 1 al 3 con un costo total de \$49

Periodo $t$	$D_i(\text{unidades})$	$TC(1, t)$	$TCU(1, t)$
1	10	20	20
2	15	35	17.50
3	7	49	16.33
4	20	109	27.25

## Ejemplo: Silver Meal

---

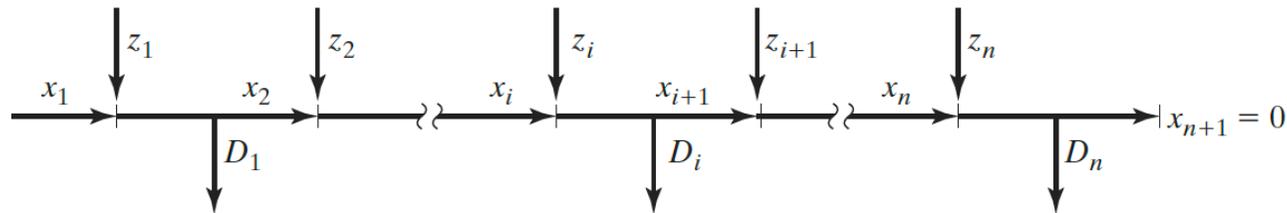
Tabla final

Periodo $t$	<i>Unidades producidas</i>	Costos (\$)
1	32	49
2	0	0
3	0	0
4	20	18
5	13	5
6	25	50
TOTAL	90	122

El mínimo ocurre en  $t^* = 5$ , que requiere pedir 13 unidades en el periodo 5 para el periodo 5. Luego establecemos  $i = 5 + 1 = 6$ . Sin embargo, como  $i = 6$  es el último periodo del horizonte de planificación, debemos pedir 25 unidades en el periodo 6 para el periodo 6.

# Modelo de cantidad económica de pedido con costo de preparación

- En esta situación no se permiten faltantes, y se incurre en un costo de preparación cada vez que se inicia un nuevo lote de producción.
- Se presentarán dos métodos de solución:
  - un **algoritmo de programación dinámica**
  - una **heurística**.



$z_i$  = cantidad pedida  
 $D_i$  = demanda durante el periodo  
 $x_i$  = inventario al inicio del periodo

La función de costo de producción asociado para le period i es

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 0, & z_i = 0 \\ S_i + C_i(z_i), & z_i > 0 \end{cases}$$

Los elementos de costos de esta situación se definen como:

$S_i$  = costo de preparación *en el periodo i*  
 $H_i$  = costo de *retención de inventario unitario*  
 del periodo  $i$  a  $i + 1$

La función  $C_i(z_i)$  es la función de costo de producción marginal, dada  $z_i$

# Algoritmo de programación dinámica

Sin faltantes, el modelo de inventario se basa en minimizar la suma de los costos de producción y retención en los  $n$  periodos. A fin de simplificar, supondremos que el costo de retención en el periodo  $i$  se basa en el inventario de final de periodo, definido como

$$x_{i+1} = x_i + z_i - D_i$$

Para la ecuación recursiva hacia adelante, o de avance, el estado en la etapa (periodo)  $i$  se define como  $x_{i+1}$ , el nivel del inventario al final del periodo. En el caso extremo, el inventario restante,  $x_{i+1}$ , puede satisfacer la demanda en todos los periodos restantes; es decir,

$$0 \leq x_{i+1} \leq D_{i+1} \pm \dots + D_n$$

Sea  $f_i(x_{i+1})$  el costo mínimo del inventario para los periodos 1, 2, ...  $i$  dado el inventario final del periodo  $x_{i+1}$ . La ecuación recursiva hacia adelante es

$$f_1(x_2) = \min_{z_1 = D_1 + x_2 - x_1} \{C_1(z_1) + H_1 x_2\},$$

$$f_i(x_{i+1}) = \min_{0 \leq z_i \leq D_i + x_{i+1}} \{C_i(z_i) + H_i x_{i+1} + f_{i-1}(x_{i+1} + D_i - z_i)\}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Observe que durante el periodo 1,  $z_1$  es exactamente igual a  $D_1 + x_2 - x_1$ . Para  $i > 1$ ,  $z_i$  puede ser cero porque  $D_i$  puede satisfacerse a partir de la producción en periodos precedentes.

## Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica general

La siguiente tabla proporciona los datos de una situación de inventario de 3 periodos

Periodo i	Demanda Di (unidades)	Costo de preparación (\$)	Costo de retención (\$)
1	3	3	1
2	2	7	3
3	4	6	2

La demanda ocurre en unidades discretas y el inventario de inicio es  $x_1 = 1$  *unidad*. El costo de producción unitario  $C_i(z_i)$  es de \$10 para las primeras 3 unidades y de \$20 para cada unidad adicional, es decir

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 10z_i, & 0 \leq z_i \leq 3 \\ 30 + 20(z_i - 3), & z_i > 4 \end{cases}$$

Determine la política de inventario óptima

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica general

## Periodo 1

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 10z_i, & 0 \leq z_i \leq 3 \\ 30 + 20(z_i - 3), & z_i > 4 \end{cases}$$

$$0 \leq x_2 \leq 6$$

$$C_1(z_1) + H_1x_2$$

		$z_1 = 2$	$z_1 = 3$	$z_1 = 4$	$z_1 = 5$	$z_1 = 6$	$z_1 = 7$	$z_1 = 8$	Sol. óptima	
$x_2$	$H_1x_2$	$C_1(z_1) = 23$	$C_1(z_1) = 33$	$C_1(z_1) = 53$	$C_1(z_1) = 73$	$C_1(z_1) = 93$	$C_1(z_1) = 113$	$C_1(z_1) = 133$	$f_1(x_2)$	$z_1^*$
0	0	23							23	2
1	1		34						34	3
2	2			55					55	4
3	3				76				76	5
4	4					97			97	6
5	5						118		118	7
6	6							139	139	8

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica general

## Periodo 2

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 10z_i, & 0 \leq z_i \leq 3 \\ 30 + 20(z_i - 3), & z_i > 4 \end{cases}$$

$$0 \leq x_3 \leq 4$$

$$C_2(z_2) + H_2x_3 + f_1(x_3 + D_2 - z_2)$$

		$z_2 = 0$	$z_2 = 1$	$z_2 = 2$	$z_2 = 3$	$z_2 = 4$	$z_2 = 5$	$z_2 = 6$	Sol. óptima	
$x_3$	$H_2x_3$	$C_2(z_2)$ = 0	$C_2(z_2)$ = 17	$C_2(z_2)$ = 27	$C_2(z_2)$ = 37	$C_2(z_2)$ = 57	$C_2(z_2)$ = 77	$C_2(z_2)$ = 97	$f_2(x_3)$	$z_2^*$
0	0	55	51	50					50	2
1	3	79	75	64	63				63	3
2	6	103	99	88	77	86			77	3
3	9	127	123	112	101	100	109		100	4
4	12	151	147	136	125	124	123	132	123	5

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica general

## Periodo 3

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 10z_i, & 0 \leq z_i \leq 3 \\ 30 + 20(z_i - 3), & z_i > 4 \end{cases}$$

$$C_3(z_3) + H_3x_4 + f_2(x_4 + D_3 - z_3)$$

		$z_2 = 0$	$z_2 = 1$	$z_2 = 2$	$z_2 = 3$	$z_2 = 4$	Sol. óptima	
$x_4$	$H_3x_4$	$C_3(z_3) = 0$	$C_3(z_3) = 16$	$C_3(z_3) = 26$	$C_3(z_3) = 36$	$C_3(z_3) = 56$	$f_3(x_4)$	$z_3^*$
0	0	123	116	103	99	106	99	3

La solución óptima se lee como sigue:

$$(x_4 = 0) \rightarrow \boxed{z_3 = 3} \rightarrow (x_3 = 0 + 4 - 3 = 1) \rightarrow \boxed{z_2 = 3} \\ \rightarrow (x_2 = 1 + 2 - 3 = 0) \rightarrow \boxed{z_1 = 2}$$

Por lo tanto, la solución óptima es  $z_1^* = 2, z_2^* = 3, y z_3^* = 3$ , con un costo total de \$99.

# Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

---

La PD general dada antes es aplicable con cualquier función de costo. Esta generalización dicta que el estado  $x_i$  y las alternativas  $z_i$  en la etapa  $i$  asumen valores en incrementos de 1, lo que podría dar lugar a tablas grandes cuando las cantidades demandadas son grandes. Un caso especial del modelo de PD general promete reducir el volumen de los cálculos. En esta situación especial, tanto el costo de producción unitario como los costos de retención unitarios son funciones no crecientes (cóncavas) de la cantidad de producción y el nivel del inventario, respectivamente. Esta situación suele ocurrir cuando la función de costo unitario es constante o si se permite el descuento por cantidad. En las condiciones dadas, se puede demostrar que

1. Dado que un inventario inicial cero ( $x_1$ ) es óptimo para satisfacer la demanda en cualquier periodo  $i$  o con una nueva producción con inventario entrante, pero nunca con ambos; es decir,  $z_i x_1 = 0$ . (En el caso de inventario inicial positivo,  $x_1 > 0$ , la cantidad puede amortizarse con las demandas de los periodos sucesivos hasta que se agote.)
2. La cantidad de producción óptima,  $z_i$ , durante el periodo  $i$  debe ser cero o satisfacer la demanda exacta de uno o más periodos subsiguientes contiguos.

## Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

---

Un modelo de inventario de 4 periodos opera con los siguientes datos:

Periodo i	Demanda $D_i$ (unidades)	Costo de preparación (\$)
1	76	98
2	26	114
3	90	185
4	67	70

El inventario inicial  $x_1 = 15$  unidades. El costo de producción unitario es de \$2 y el costo de retención unitario es de \$1 durante todos los periodos (para simplificar los costos de producción y retención unitarios son los mismos durante todos los periodos)

La solución se determina por el algoritmo hacia adelante ya proporcionado, except que los valores  $x_{i+1}$  y  $z_i$  ahora suponen sumas “concentradas” en lugar de con incrementos de uno. Debido a que  $x_1 = 15$  la demanda del primer period se ajusta a  $76 - 15 = 61$  unidades

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

Periodo 1

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$D_1 = 61$$

$$0 \leq x_2 \leq 183$$

$$C_1(z_1) + H_1x_2$$

		$z_1 = 61$	$z_1 = 87$	$z_1 = 177$	$z_1 = 244$	Sol. óptima	
$x_2$	$H_1x_2$	$C_1(z_1)$ = 220	$C_1(z_1)$ = 272	$C_1(z_1)$ = 452	$C_1(z_1)$ = 586	$f_1(x_2)$	$z_1^*$
0	0	220				220	61
26	26		298			298	87
116	116			568		568	177
183	183				769	769	244

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

## Periodo 2

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$D_2 = 26$$

$$0 \leq x_2 \leq 157$$

$$C_2(z_2) + H_2x_3 + f_1(x_3 + D_2 - z_2)$$

		$z_2 = 0$	$z_2 = 26$	$z_2 = 116$	$z_2 = 183$	Sol. óptima	
$x_2$	$H_1x_2$	$C_2(z_2) = 0$	$C_2(z_2) = 166$	$C_2(z_2) = 346$	$C_2(z_2) = 480$	$f_2(x_3)$	$z_2^*$
0	0	298	386			298	0
90	90	658		656		656	116
157	157	926			85	857	183

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

## Periodo 3

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$D_3 = 90$$

$$0 \leq x_3 \leq 67$$

$$C_3(z_3) + H_3x_4 + f_2(x_4 + D_3 - z_3)$$

		$z_3 = 0$	$z_3 = 90$	$z_2 = 157$	Sol. óptima	
$x_4$	$H_3x_4$	$C_3(z_3) = 0$	$C_3(z_3) = 365$	$C_3(z_3) = 499$	$f_3(x_4)$	$z_3^*$
0	0	656	663		656	0
67	67	924		864	864	157

# Ejemplo: Algoritmo de programación dinámica con costos marginales constantes o decrecientes

Periodo 4

$$D_4 = 67$$

- \*No olvide el costo por ordenar (S), cuando hay que ordenar

$$C_4(z_4) + H_4x_5 + f_3(x_5 + D_4 - z_4)$$

		$z_4 = 0$	$z_4 = 67$	Sol. óptima	
$x_5$	$H_4x_5$	$C_4(z_4) = 0$	$C_4(z_4) = 204$	$f_4(x_5)$	$z_4^*$
0	0	864	860	860	0

La política óptima se determina a partir de las tablas como sigue:

$$(x_5 = 0) \rightarrow \boxed{z_4 = 67} \rightarrow (x_4 = 0) \rightarrow \boxed{z_3 = 0}$$

$$\rightarrow (x_3 = 90) \rightarrow \boxed{z_2 = 116} \rightarrow (x_2 = 0) \rightarrow \boxed{z_1 = 61}$$

Esto da  $z_1^* = 61, z_2^* = 116, z_3^* = 0$ , y  $z_4^* = 67$ , a un costo total de \$860.

# Libros de referencia

---

- Baudin, M. & Netland, T. (2023). *Introduction to manufacturing: an industrial engineering and management perspective*. Routledge
- Russel & Taylor. *Operations & Supply Chain Management*. Wiley
- Slack, N., et al. (2016) . *Operations Management*. Pearson
- Stevenson, W. (2015). *Operations Management*. McGraw-Hill
- Schroeder et al. (2018). *Operations Management in Supply Chain*. McGraw-Hill
- Render, B. & Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones*. Pearson
- Render, B. & Heizer, J. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson
- Krajewski et al.(2013). *Administración de operaciones, procesos y cadena de suministro*. Pearson
- Chase, R. & Jacobs, F. (2014). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministro*. McGraw – Hill
- Slack & Lewis (2016). *Operations Strategy*. Pearson
- Collier & Evans (2016). *Administración de operaciones*. Cengage
- Ulrich, K. & Eppinger S. (2013) . *Diseño y Desarrollo de productos*. McGraw-Hill
- Schuh, G. (2012). *Innovationsmanagement - Handbuch Produktion und Management*. Springer Verlag
- Meyers, F. & Stephens, M.. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson.
- Christopher (2016). *Logistics and Supply Chain Management*. Pearson
- Dumas, M. et al. (2018). *Fundamentals of Process Management*. Springer
- Peña & Rivera. (2016). *Administración de procesos*. Pearson
- Lovelock, C. et al. *Administración de servicios*. Pearson
- Johnston et al. *Service Operations Management*. Pearson
- Kumar, S. & Suresh, N. (2008). *Production and Operations Management*. New Age International Limited Publishers
- Cuatrecasas, L. (2012). *Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Gupta, S & Star, M. (2014). *Production and operations – management systems*. Taylor and Francis Group
- Fritzsimmmons, J. & Fritzsimmmons, M. *Service Management*. McGraw-Hill
- Swink et al. (2014). *Managing operations across the supply chain*. McGraw-Hill

# Libros de referencia

---

- Freivalds, A. & Niebel, B. *Ingeniería Industrial – métodos estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill
- Kalpakjian, S. & Schmid, S. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson
- Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*. McGraw-Hill
- Render, B. (2016). *Métodos cuantitativos para los Negocios*. Editorial Pearson.
- Anderson, D. & Sweeny, D. (2019). *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. Cengage
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la Producción y las Operaciones*. McGraw-Hill
- Schlick, C. *Arbeitswissenschaft*. Springer Verlag
- Rees, M. (2015). *Business Risk and Simulation Modeling in Practice*. John Wiley & Sons Ltd
- Winston, W. (2017) *Microsoft Excel 2016 – Data Analysis and Business Modeling*. Microsoft press

# Contacto



## Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**Universidad Tecnológica de Panamá | Centro Regional de Chiriquí**

E-Mail: [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)

Social: [LinkedIn](#) | [ResearchGate](#)

Website: <https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>



Project Manager



Grupo de Investigación  
en Ingeniería Industrial

Website: [www.giii.utp.ac.pa](http://www.giii.utp.ac.pa)

