

# MANUAL DE LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES



**Octavo Semestre**

## PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	<b>Práctica 1:</b> Pronóstico de la demanda
Martes	08:00-12:00	<b>Práctica 2:</b> Aplicación de políticas de inventario y su clasificación.
Miércoles	08:00-12:00	<b>Práctica 3:</b> Explosión de materiales
Jueves	08:00-12:00	<b>Práctica 4:</b> Programación a corto plazo
<b>La evaluación será virtual, según programación</b>		

## MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

No.	Reactivos y Material
1	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Computadora
2	Hojas en blanco Lapiceros Regla Calculadora
3	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Computadora <b>Software de diagramación (recomendado diagrams.net)</b>
4	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Regla Computadora

## INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.

7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

**La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.**

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **27 de octubre 2025 a las 8:00 al 31 de octubre 2025 a las 18:00.**

## **INFORME DE PRÁCTICA**

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **Resultados:** es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **Resumen de la práctica:** esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- c. **Conclusiones:** constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

### **Detalles físicos del informe**

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta.**
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano con letra clara y legible, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

### **Importante:**

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio sin excepciones. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

# PRÁCTICA NO. 1

## PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA

### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos para la elaboración de pronósticos.
- 1.2. Generar modelos de predicción de pronósticos de la demanda.
- 1.3. Evaluar la precisión de los pronósticos realizados.

### 2. Marco Teórico:

**Pronósticos:** en la industria es muy importante la planificación de las operaciones para administrar los recursos en forma eficiente durante el desarrollo de las funciones de la empresa, especialmente a la cadena de suministro. La mayoría de las actividades de planificación se enfocan en el futuro, pero como el futuro no es certero debido a su propia naturaleza, se utilizan metodologías que permiten realizar una estimación aproximada de lo que podría suceder en función de lo que ha sucedido.

Estas estimaciones son los pronósticos, los pronósticos pueden ser clasificados en económicos, tecnológicos y de la demanda. El enfoque de este manual son los pronósticos de la demanda. En manera similar, se argumenta que los pronósticos se pueden clasificar según las técnicas de análisis utilizadas para realizar la estimación, estos pueden ser: análisis de series de tiempo, cualitativo, simulación y relaciones causales. Los pronósticos cuentan con las siguientes características:

- ✦ Al ser estimaciones del futuro, los valores observados en la realidad regularmente serán diferentes a los que fueron pronosticados, por tanto, se debe considerar el error del pronóstico al realizar la planificación.
- ✦ Mientras mayor sea el plazo de tiempo que se desea pronosticar, mayor será el error que se tendrá al realizar el pronóstico.
- ✦ La inclusión de más datos dentro del pronóstico mejora la precisión de este.
- ✦ En la cadena de producción, las empresas que realizan la venta final a los clientes serán capaces de producir mejores pronósticos que las que son proveedores a dichas empresas.

Pasos para la construcción de un modelo de pronóstico:

1. Identificar cuál es el objetivo del pronóstico.
2. Elegir las variables que deben formar parte del pronóstico.
3. Determinar si el pronóstico debe realizarse a corto, mediano o largo plazo.
4. Escoger los modelos o métodos de pronóstico a utilizar.
5. Obtener toda la información relevante para la construcción de los modelos de pronóstico.
6. Ejecutar el pronóstico.
7. Verificar y validar el modelo de pronóstico.

### Métodos de Pronóstico Cuantitativos

Los métodos cuantitativos son técnicas basadas en datos históricos y modelos matemáticos para predecir valores futuros. En esta práctica se emplean tres métodos:

**Promedio móvil:** este método toma en consideración el nivel de la demanda y su error aleatorio, no incluye el factor estacional ni la tendencia. Con este método, el nivel de la demanda en el siguiente período será igual al promedio de una determinada cantidad de los datos más recientes.

$$P_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1}}{N}$$

donde:

- $P_{t+1}$  = Pronóstico para el período siguiente
- $D_t$  = demanda real en el periodo t
- $N$  = número de periodos usados para el promedio móvil

Pronóstico del siguiente período = Promedio de los últimos  $N$  períodos

La cantidad de períodos a considerar debe seleccionarse según las condiciones de estudio, se recomienda analizar varios períodos de tiempo para determinar cuál tiene una mejor adaptación a los datos históricos. Cuando se consideran más cantidades de períodos, se le dará más énfasis al nivel de la demanda que, a los errores aleatorios, por otra parte, mientras menos períodos se consideran el modelo se podrá adaptar a los movimientos aleatorios de la demanda.

**Promedio móvil ponderado:** El promedio móvil ponderado es una técnica que calcula el pronóstico asignando diferentes pesos a cada uno de los datos históricos, dando más importancia a ciertos periodos (generalmente los más recientes). Esto permite que el pronóstico sea más sensible a cambios recientes en la demanda.

$$P_{t+1} = \frac{w_1 D_t + w_2 D_{t-1} + \dots + w_N D_{t-N}}{w_1 + w_2 + \dots + w_N}$$

Donde

- $P_{t+1}$  = Pronóstico para el período siguiente t+1
- $w_1 D_t + w_2 D_{t-1} + \dots + w_N D_{t-N}$  = Valores de demanda observados en los períodos t, t-1, ..., t - N+1
- $w_1, w_2, \dots, w_N$  = Pesos asignados a cada demanda, donde usualmente  $w_1 > w_2 > \dots > w_N$  (los datos más recientes tienen mayor peso).

Pronóstico del siguiente período = Promedio ponderado de los últimos  $N$  períodos

**Suavizamiento exponencial:** consiste en realizar la ponderación de los datos históricos conforme a una función exponencial. Cabe resaltar también, que este método requiere una menor cantidad de datos históricos en su cálculo, manejando únicamente la información más reciente. Para calcularlo, se deben conocer tres elementos en específico, siendo estos el valor real del nivel de la demanda del período anterior, el pronóstico realizado en el período anterior y una constante de suavización. Estos elementos se incorporan en la siguiente ecuación.

$$P_{t+1} = P_t + \alpha(D_t - P_t)$$

Pronóstico del siguiente período = Pronóstico del período actual más el ajuste de suavización

La constante de suavización exponencial responde a las diferencias entre los pronósticos y los valores reales de la demanda. Esta constante debe encontrarse en un rango de 0 a 1, con valores típicos de 0.05 a 0.50. Cuando el valor de la constante de suavización exponencial se acerca a 1, se elimina el efecto de los datos

históricos y el modelo se convierte en el pronóstico del último valor. Por el contrario, mientras más baja sea la constante, más peso tendrán los datos históricos en el análisis.

**Regresión Lineal Simple:** la regresión lineal simple modela la relación entre la demanda y el tiempo, ajustando una línea recta que representa la tendencia de los datos históricos. Es especialmente útil cuando la demanda muestra una tendencia creciente o decreciente.

La ecuación de la recta es:

$$D_t = a + b * t$$

donde:

- $D_t$  = pronóstico para el periodo  $t$
- $a$  = intercepto (valor inicial estimado de la demanda)
- $b$  = pendiente (cambio promedio en la demanda por unidad de tiempo)
- $t$  = número de periodo (1, 2, 3, ...)

Los parámetros  $a$  y  $b$  se calculan con:

$$b = \frac{n \sum (t \cdot D_t) - \sum t \sum D_t}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$
$$a = \bar{D} - b \cdot \bar{t}$$

Donde:

$n$  = número de observaciones

$D$  = promedio de las demandas

$t$  = promedio de los periodos

**Errores de pronóstico:** dada su naturaleza, cada pronóstico realizado será diferente a los valores reales de la demanda. Existen varios indicadores que pueden ser utilizados para evaluar la capacidad de un pronóstico de proporcionar estimaciones cercanas a la realidad. Primero, es necesario definir al error de pronóstico como la diferencia entre el valor real y el valor pronosticado, dependiendo si el valor pronosticado considera también la tendencia y estacionalidad.

$$e_t = P_t - D_t = F_t - D_t = S_t - D_t$$

Error de pronóstico = Pronóstico de la menos la demanda real del mismo período

Mientras más cercano a cero es este valor, se considera que el pronóstico es más exacto.

**Media del error del pronóstico al cuadrado:** Conocido también como MSE por sus siglas en inglés *Mean Square Error*, este tipo de indicador es el valor promedio del cuadrado de los errores de pronóstico, de la siguiente forma:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2$$

Este indicador utiliza el cuadrado de los errores para evitar que las desviaciones positivas y negativas se cancelen entre sí. Se recomienda utilizarlo para controlar errores grandes de pronóstico que puedan tener fuertes consecuencias en costos, esto debido a que al elevar al cuadrado el error le da mayor peso a los errores de pronóstico de mayor magnitud.

**Media de la desviación absoluta de los errores de pronóstico:** conocido también como MAD por sus siglas en inglés *Mean Absolute Deviation*, este es un promedio de los valores absolutos de error de pronóstico. Aporta información sobre la dispersión de los valores del pronóstico respecto a la realidad.

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t|$$

Se recomienda aplicar este indicador cuando los costos de cometer un error de pronóstico son proporcionales a la magnitud del error.

**Media de los errores de porcentajes absolutos:** conocido también como MAPE por sus siglas en inglés *Mean Absolute Percentage Error*, este indicador es la representación del error relativo de pronóstico promedio. Esta metodología facilita la comparación entre varios métodos de pronóstico al normalizar los datos de errores de pronóstico entre dos series de tiempo.

$N$

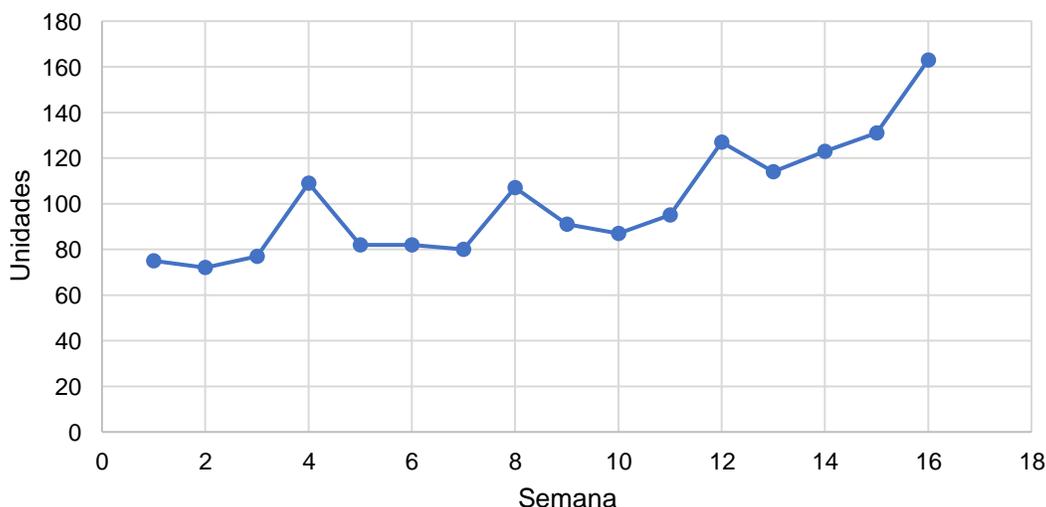
$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{e_t}{D_t} \right|$$

Se recomienda utilizarlo cuando los pronósticos tienen estacionalidad y en aquellos que varían significativamente en cada período de análisis.

**Ejemplo.** Un emprendimiento de venta en línea de loncheras desea evaluar la manera de expandir sus operaciones. Con tal efecto, se le solicita realizar un análisis de la proyección de la demanda y determinar los niveles de venta para las siguientes cuatro semanas con el menor error posible. Dado que es un emprendimiento, no cuentan con muchos datos históricos, pero le proporcionan la siguiente información:

Mes	Semana	Ventas (unidades)
1	1	75
	2	72
	3	77
	4	109
2	5	82
	6	82
	7	80
	8	107
3	9	91
	10	87
	11	95
	12	127
4	13	114
	14	123
	15	131
	16	163

Como primer paso, se recomienda graficar la información para tener una idea visual del comportamiento de los datos y estimar las herramientas adecuadas para el análisis. El promedio total de ventas es de 101 unidades.



En la gráfica, los datos aparentan un comportamiento al alza en las ventas, sin embargo, existen varios “picos” en los que las ventas suben drásticamente, lo cuál indica un comportamiento estacional cada 4 semanas. Como siguiente paso, se debe aplicar la metodología para eliminar la estacionalidad de los datos y poder aplicar los métodos de pronóstico, reincorporando este factor una vez realizado. Para efectos de cálculo, el ciclo es un mes, compuesto de cuatro semanas. El promedio total de ventas es de 101 unidades.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Promedio	Índice de E.
<b>Semana 1</b>	75	82	91	114	91	0.8960396
<b>Semana 2</b>	72	82	87	123	91	0.9009901
<b>Semana 3</b>	77	80	95	131	96	0.9480198
<b>Semana 4</b>	109	107	127	163	127	1.25247525
<b>Total</b>	Suma 333	Suma 351	Suma 400	Suma 531	Promedio 101	

Ahora, según la metodología, se debe realizar el pronóstico del total de ventas del mes siguiente.

Mes	Ventas totales	Último valor	Promedio móvil N=2	Promedio móvil N=3	Promedio ponderado N=2 $w_1=0.75$ y $w_2=0.25$	Suavizamiento exponencial, $\alpha=0.1$	Suavizamiento exponencial, $\alpha=0.5$
1	333						
2	351	333				333	333
3	400	351	342		347	335	342
4	531	400	376	361	388	341	371
<b>5</b>		<b>531</b>	<b>466</b>	<b>427</b>	<b>498</b>	<b>360</b>	<b>451</b>

En la tabla anterior se presentan varios pronósticos para el quinto mes, debido a la escasa cantidad de datos mensuales algunos métodos no pueden ser aplicados con mucha facilidad. Los promedios ponderados y suavizamientos exponenciales podrían evaluarse con una infinidad de constantes  $\alpha$  y  $w_i$ , se han colocado

algunos valores de prueba en la tabla. Para seleccionar uno de estos, se debe calcular un indicador del error, en este caso se utilizará el MAPE dada la presencia de estacionalidad.

Mes	Último valor	Promedio móvil N=2	Promedio móvil N=3	Promedio ponderado N=2 $w_1=0.75$ y $w_2=0.25$	Suavizamiento exponencial, $\alpha=0.1$	Suavizamiento exponencial, $\alpha=0.5$
1						
2	5.13%				5.13%	5.13%
3	12.25%	14.50%		13.38%	16.30%	14.50%
4	24.67%	29.28%	31.95%	26.98%	35.72%	30.13%
<b>MAPE</b>	<b>14.02%</b>	<b>21.89%</b>	<b>31.95%</b>	<b>20.18%</b>	<b>19.05%</b>	<b>16.59%</b>

De los pronósticos realizados, el método del último valor proporciona los datos más acertados según el criterio del MAPE, por tanto, el pronóstico para el quinto mes será de 531 unidades. A continuación, se debe determinar el factor de tendencia. Al igual que el pronóstico, la tendencia en el quinto mes debe ser pronosticada por alguno de los métodos estudiados. Dado que solo existirán tres valores de tendencia, no es recomendado aplicar el promedio móvil con N igual a 3 o más.

Mes	Ventas totales	Tendencia	Último valor	Promedio móvil N=2	Promedio ponderado N=2, $w_1=0.75$ y $w_2=0.25$	Suavizamiento exponencial, $\beta=0.1$	Suavizamiento exponencial, $\beta=0.5$
1	333						
2	351	18					
3	400	49	18			18	18
4	531	131	49	34	41	21	34
5			<b>131</b>	<b>90</b>	<b>111</b>	<b>32</b>	<b>76</b>

También debe evaluarse el error de pronóstico en la tendencia, nuevamente se utilizará el MAPE.

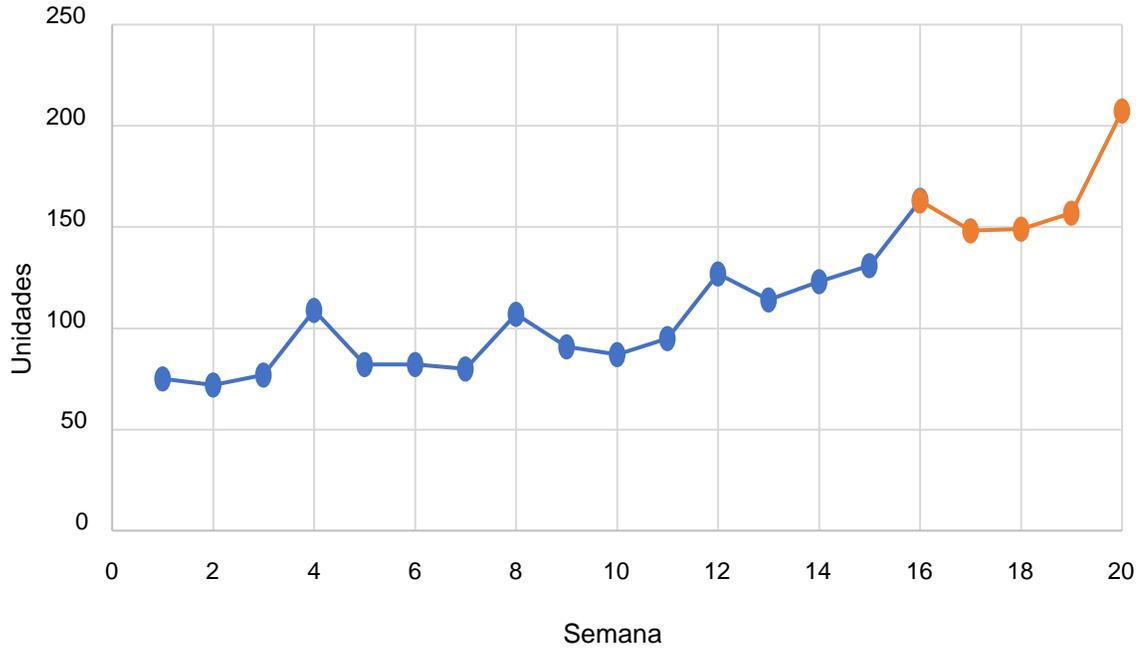
Mes	Último valor	Promedio móvil N=2	Promedio ponderado N=2, 0.75 y 0.25	Suavizamiento exponencial, $\beta=0.1$	Suavizamiento exponencial, $\beta=0.5$
1					
2					
3	63.27%			63.27%	63.27%
4	62.60%	74.43%	68.51%	83.89%	74.43%
<b>MAPE</b>	<b>62.93%</b>	<b>74.43%</b>	<b>68.51%</b>	<b>73.58%</b>	<b>68.85%</b>

De igual manera, el método del último valor brinda los mejores resultados para el pronóstico, esto seguramente es debido a la poca cantidad de información. Por tanto, la tendencia pronosticada para el quinto mes será de 131 unidades. Ya que se han evaluado los métodos y seleccionado el pronóstico con menor error, se pronostica que para el quinto mes se tendrán ventas de 531 + 131 unidades, para un total de 662 unidades.

Para determinar el pronóstico de cada semana del quinto mes, se divide el pronóstico de 662 unidades por 4 semanas y se multiplica cada una por su índice de estacionalidad.

Semana	Pronóstico	Índice de estacionalidad	Pronóstico con estacionalidad
17	165.5	0.8960396	<b>148</b>
18	165.5	0.9009901	<b>149</b>
19	165.5	0.9480198	<b>157</b>
20	165.5	1.25247525	<b>207</b>

Incorporando el pronóstico a la gráfica se puede observar que el comportamiento parece predecir correctamente el comportamiento, en cuanto se tenga la información real de las ventas ese mes se debe revisar el pronóstico.



## HOJA DE TRABAJO No. 1

**Caso 1.** Una organización fabricante de jugos está considerando vender una máquina para envasar debido a que la demanda aparenta estar en disminución. La planta tiene capacidad para producir 500,000 unidades mensuales, la máquina en cuestión aporta 50,000 unidades al mes a este total. Usted, como gerente de producción, solicita al área de ventas los datos históricos de las ventas totales de productos que requieren envasado y le envían la siguiente información:

Mes	Ventas en unidades		
	2020	2021	2022
1		514 000	494 000
2		518 000	490 000
3		557 000	478 000
4	468 000	495 000	480 000
5	435 000	503 000	440 000
6	408 000	558 000	393 000
7	423 000	460 000	
8	492 000	506 000	
9	463 000	475 000	
10	443 000	483 000	
11	469 000	506 000	
12	463 000	437 000	

Evalúe, desde el punto de vista del nivel de producción, si es factible vender la máquina el siguiente mes, es decir, que vender la máquina no afectará a la planificación de la producción. Considerando ahora los demás actores involucrados en la posible decisión, ¿es una buena decisión vender la máquina? Para el análisis del error de pronóstico se recomienda utilizar MSE.

**Caso 2.** Determine el mejor pronóstico para el nivel de ventas del mes 1 del año 2022.

Mes	Ventas en unidades		
	2019	2020	2021
1	383	768	1 522
2	265	1 072	1 549
3	541	1 159	1 458
4	244	881	1 444
5	330	1 255	1 526
6	727	1 123	1 468
7	648	1 374	1 616
8	470	1 424	1 497
9	939	1 369	1 506
10	522	1 495	1 470
11	659	1 598	1 571
12	825	1 405	1 421

**Caso 3.** Determine el mejor pronóstico para el nivel de ventas del mes 1 del año 2023.

	<b>Ventas en unidades</b>		
<b>Mes</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
1	372	718	1 063
2	259	702	1 302
3	497	1 037	1 024
4	242	704	328
5	312	1 237	926
6	674	920	955
7	544	654	380
8	456	1 209	1 279
9	787	1 144	21
10	416	787	936
11	605	1 409	865
12	718	540	107

## PRÁCTICA NO. 2

### APLICACIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIO Y SU CLASIFICACIÓN

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Comprender los conceptos fundamentales relacionados con las políticas de inventario.
- 1.2 Analizar los diferentes tipos de políticas de inventario y su impacto en la operación logística.
- 1.3 Aplicar el método ABC para la clasificación y priorización de productos en inventario.
- 1.4 Determinar la cantidad económica de pedido (EOQ) y el punto de reorden para diferentes productos.

#### 2. Marco Teórico:

**Inventario:** es el conjunto de bienes en existencia destinados a realizar una operación. El inventario se crea cuando el volumen de materiales, partes o bienes terminados que se reciben es mayor que el volumen de estos que se distribuye; el inventario se agota cuando la distribución es mayor que la recepción de materiales. El principal propósito de los inventarios es desconectar las diversas fases de las operaciones y de la cadena de suministro. Además de esta razón fundamental, existen otras razones para mantener un inventario:

- ✦ **Protección contra las incertidumbres:** en los sistemas de inventarios, existen incertidumbres en la oferta, en la demanda y en los tiempos de espera. El inventario de seguridad es aquel que se mantiene para protegerse contra esas incertidumbres.
- ✦ **Permitir una producción y compras económicas:** con frecuencia, resulta económico producir inventarios en lotes, ya que ello permite la producción en un punto en el tiempo; posteriormente, no se realiza alguna otra producción del mismo artículo hasta que el lote esté casi agotado. El inventario resultante de la compra o producción de materiales en lotes se denomina inventario del ciclo, ya que los lotes se producen o se compran sobre una base cíclica.
- ✦ **Cubrir los cambios anticipados en la demanda o en la oferta:** hay varias situaciones en las cuales se esperan cambios en la demanda o en la oferta, lo que ocasiona que las organizaciones mantengan un inventario anticipado.
- ✦ **Prever el tránsito:** los inventarios que se desplazan de un punto a otro en la cadena de suministro se conocen como inventarios en trámite o inventarios en tránsito.

**Políticas de Inventario:** son las reglas o directrices que una organización sigue para gestionar sus existencias de materiales o productos. Estas políticas definen cuándo y cuánto pedir, cómo controlar el stock y cómo mantener niveles adecuados para satisfacer la demanda sin incurrir en costos excesivos. La correcta definición de políticas de inventario es fundamental para optimizar recursos y mejorar el flujo operativo.

Las políticas más comunes son:

- **Revisión continua:** Se monitorea el inventario constantemente y se realiza un pedido cuando el nivel de existencias alcanza un punto de reorden.
- **Revisión periódica:** Se revisa el inventario en intervalos fijos de tiempo y se hacen pedidos para reponer hasta un nivel predeterminado.

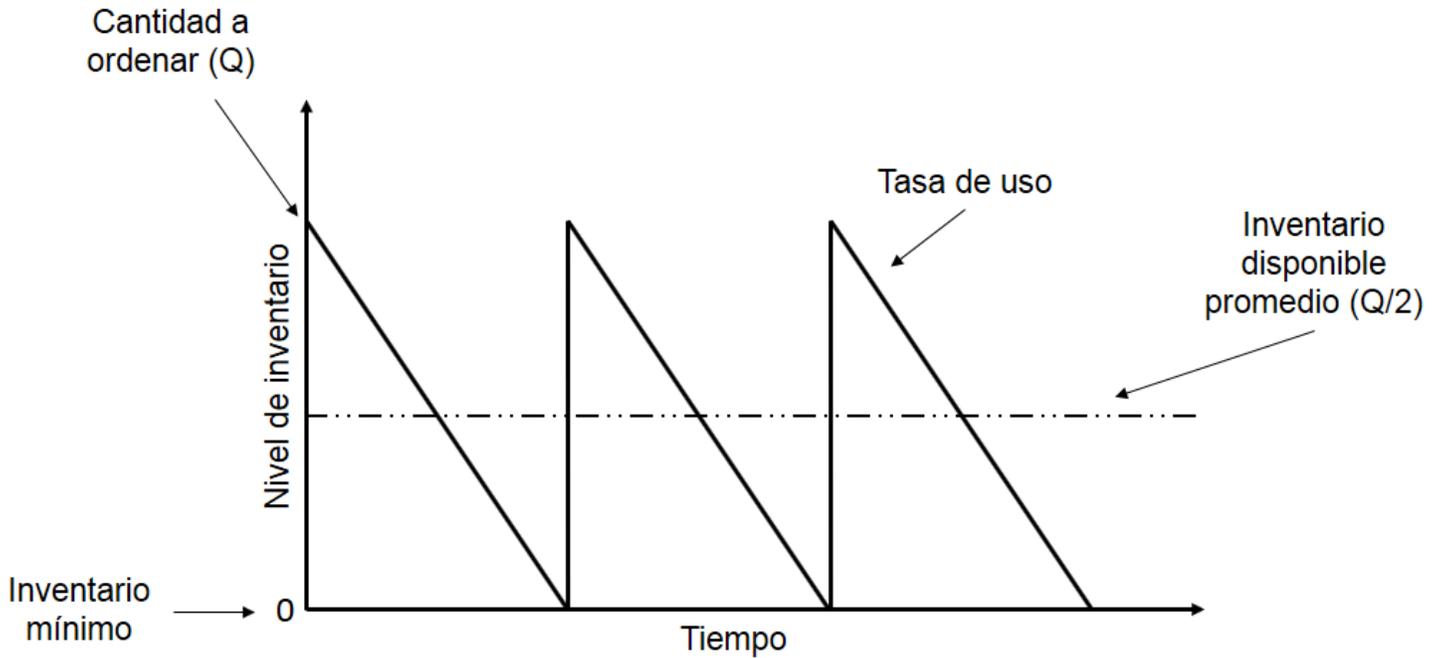
Las políticas de inventario se apoyan en conceptos clave como la Cantidad Económica de Pedido (EOQ), el Punto de Reorden, el Inventario de Seguridad y el Método ABC, los cuales permiten definir de manera precisa cuándo y cuánto pedir, así como cómo clasificar y priorizar los productos para una gestión eficiente del inventario.

**El Modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ):** El modelo de la **Cantidad Económica de Pedido (EOQ, por sus siglas en inglés)**, también conocido como modelo de Wilson-Harris, es una herramienta clásica en la

administración de inventarios. Su propósito principal es encontrar el tamaño de pedido óptimo que minimice los costos totales del inventario, considerando principalmente dos tipos de costos:

- **Costo de ordenar:** el gasto fijo asociado a realizar un pedido (procesamiento, transporte, gestión).
- **Costo de mantener inventario:** incluye almacenamiento, deterioro, seguros, capital invertido, etc.

El modelo asume una demanda constante, sin faltantes, y reposición instantánea.



Variables:

### 1. Fórmula de EOQ (Cantidad Económica de Pedido)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Esta fórmula se deriva del modelo básico de control de inventarios con demanda constante. El objetivo es minimizar el **Costo Total Anual de Inventario**, que es la suma del **costo de ordenar** y el **costo de mantener inventario**.

- K: costo por ordenar (preparación)
- D: demanda anual (unidades por año)
- h: costo de mantener una unidad por año

### 2. Número de pedidos al año

$$No. de pedidos = \frac{D}{EOQ}$$

Esta fórmula indica cuántas veces al año se debe hacer un pedido si cada uno contiene EOQ unidades.

### 3. Costo anual de preparación (ordenar)

$$Costo de preparación = No. de pedidos * K$$

Cada vez que se hace un pedido, incurre en un costo fijo. Multiplicar ese costo por la cantidad de pedidos da como resultado el total anual.

### 4. Costo anual de mantenimiento

$$\text{costo de mantenimiento} = \frac{EOQ}{2} * h$$

El inventario promedio durante el año es  $\frac{EOQ}{2}$ , porque el nivel de inventario va de EOQ a 0. Multiplicado por el costo de mantener cada unidad, da el costo anual de almacenamiento.

Este modelo ayuda a definir una política eficiente de inventario respondiendo a la pregunta de **cuánto ordenar** cada vez, optimizando los recursos de la empresa.

### Ejercicio:

La panadería "Quetzapan" vende pastelillos todos los días a un ritmo constante de 40 pastelillos por día. Cada pastelillo tiene un valor de Q5.00. La panadería anualmente trabaja 300 días al año, suponiendo que el costo de pedido es de **Q100 por pedido** y el costo de mantener los pastelillos en bodega es del **10% del valor del inventario al año**.

### Calcular:

- La cantidad económica de pedido (EOQ)
- El número de pedidos al año
- El costo anual de preparación
- El costo anual de mantener el inventario

### Resolución

#### Datos del problema:

- Demanda diaria: 40 pastelillos/día
- Días laborables al año: 300
- Demanda anual  $D=40 \times 300=12,000$  pastelillos/año
- Costo por pedido  $K=Q100$
- Costo por unidad  $C=Q5.00$
- Costo de mantenimiento anual por unidad:  $h=10\% \times 5=Q0.50$

- Cantidad Económica de Pedido (EOQ)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 12000}{0.5}} = \sqrt{\frac{2,400,000}{0.5}} = \sqrt{4800000} = 2190 \text{ pastelillos}$$

- Número de pedidos al año

$$\text{No. de pedidos} = \frac{D}{EOQ} = \frac{12000}{2190} = 5.48 \approx 6 \text{ pedidos al año}$$

- Costo anual de preparación (pedido)

$$\text{Costo de preparación} = \text{No. de pedidos} * K = 5.48 * 100 = Q548$$

- Costo anual de mantenimiento

$$\text{costo de mantenimiento} = \frac{EOQ}{2} * h = \frac{2190}{2} * 0.50 = 1095 * 0.50 = Q547.50$$

## Mejoras que se pueden aplicar con base en los resultados del EOQ

Resultado Clave	Mejora Aplicable
EOQ: 2,190 pastelillos	Optimizar los tamaños de pedido: Al ordenar exactamente 2,190 unidades por pedido, se evita el exceso de inventario (que genera sobrecostos) y se previenen faltantes. Esto permite planificar la producción y compras con precisión.
N° de pedidos al año: 6	Planificación anual de compras: Saber que solo se necesitan 6 pedidos al año permite negociar mejores condiciones con proveedores (por volumen) y organizar la logística de forma más eficiente.
Costo anual de preparación: Q548	Reducción de costos operativos: El modelo muestra que, con solo 6 pedidos, los costos por pedido se mantienen bajos. Evita compras frecuentes y desordenadas que encarecen la operación.
Costo anual de mantenimiento: Q547.50	Equilibrio en almacenamiento: El costo de mantener inventario se mantiene bajo. Esto sugiere que no se está acumulando producto innecesario y se utiliza eficientemente el espacio de bodega.

### Método de Clasificación ABC

El método ABC es una técnica de gestión de inventarios basada en el principio de Pareto, también conocido como la regla del 80/20, que establece que un pequeño porcentaje de los artículos representa la mayor parte del valor total del inventario.

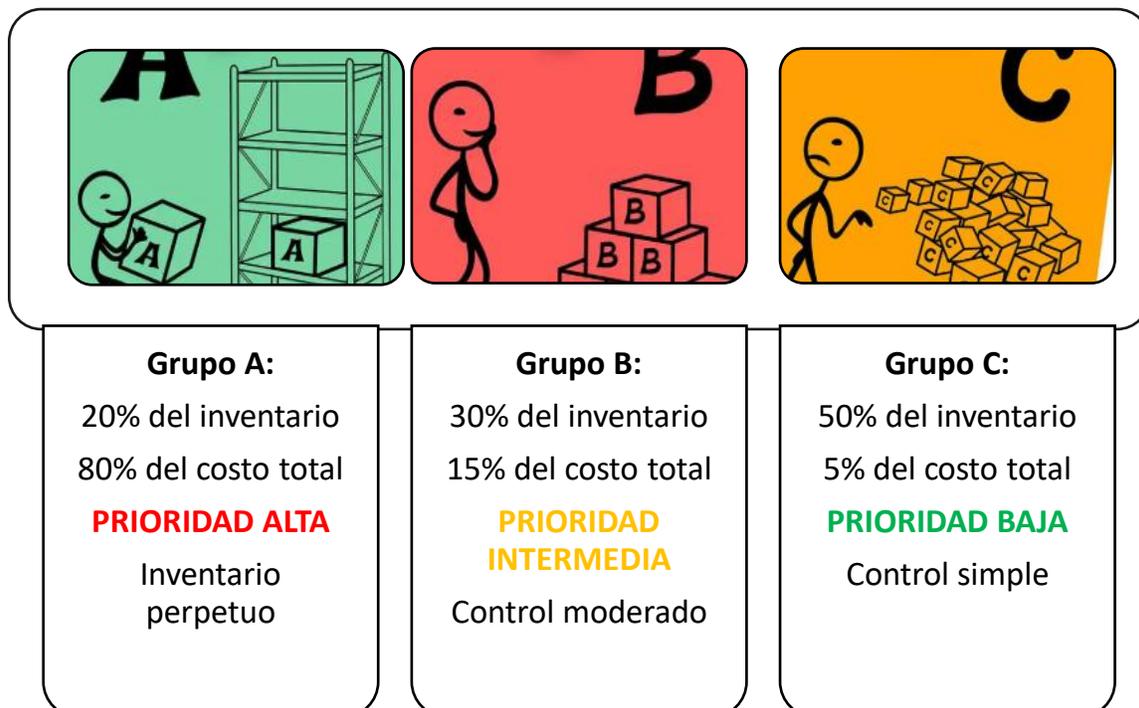
Esta clasificación permite a las organizaciones priorizar esfuerzos y recursos en los productos más significativos, optimizando así la gestión de inventarios.

¿En qué consiste?

Se clasifica el inventario en tres categorías según su valor de consumo anual:

$$\text{Valor de consumo anual} = \text{Demanda anual} * \text{precio unitario}$$

### Categorías del método ABC:



## Beneficios del método ABC:

- Permite enfocar los recursos en los productos más importantes.
- Mejora la eficiencia de las políticas de inventario.
- Facilita la toma de decisiones estratégicas en compras, almacenamiento y control.
- Reduce costos por exceso o escasez de inventario.

## Ejercicio:

La empresa Comercial "Buen Sabor" desea organizar mejor su inventario aplicando el método de clasificación ABC. Para ello, ha recopilado la siguiente información de sus productos más vendidos durante el año:

Producto	Precio Unitario (Q)	Demanda Anual (unidades)
Arroz Premium	Q10.00	2,000
Frijol Negro	Q8.00	3,000
Aceite vegetal	Q25.00	1,200
Azúcar Blanca	Q5.00	4,000
Leche en polvo	Q30.00	800
Sal Refinada	Q2.00	5,000
Café molido	Q35.00	600
Harina de trigo	Q6.00	2,500
Galletas surtidas	Q12.00	1,000
Cereal integral	Q18.00	900

1. Calcular el valor de consumo anual de cada producto
2. Ordenar los productos de mayor a menor según su valor de consumo anual.
3. Calcular el porcentaje del valor total que representa cada producto.
4. Clasificar los productos en categorías A, B o C, con base en el porcentaje acumulado:
  - a) A: los que suman hasta aproximadamente el 70-80% del valor total.
  - b) B: los que suman hasta el 90-95%.
  - c) C: el resto.

## Resolución:

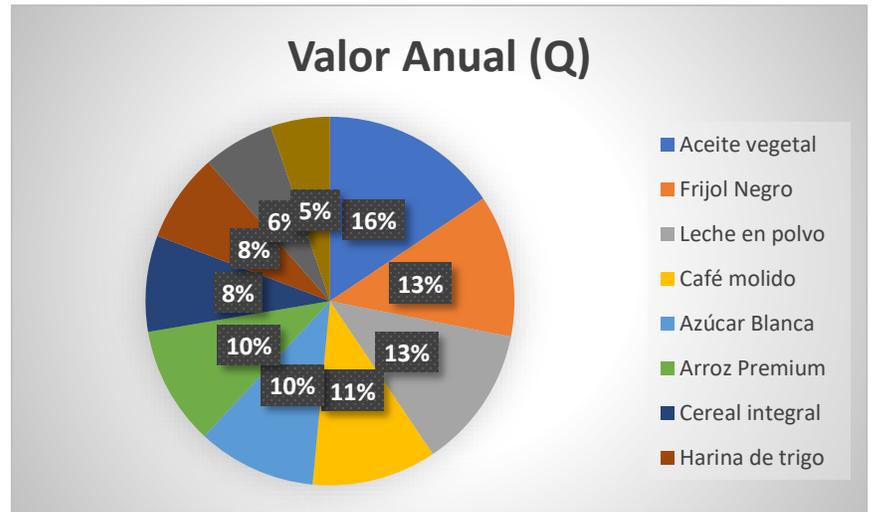
**Paso 1:** Calcular el valor de consumo anual

Multiplicar el precio unitario por la demanda anual:

Producto	Precio Unitario (Q)	Demanda Anual	Valor de Consumo Anual (Q)
Arroz Premium	Q10.00	2,000	Q20,000
Frijol Negro	Q8.00	3,000	Q24,000
Aceite vegetal	Q25.00	1,200	Q30,000
Azúcar Blanca	Q5.00	4,000	Q20,000
Leche en polvo	Q30.00	800	Q24,000
Sal Refinada	Q2.00	5,000	Q10,000
Café molido	Q35.00	600	Q21,000
Harina de trigo	Q6.00	2,500	Q15,000
Galletas surtidas	Q12.00	1,000	Q12,000
Cereal integral	Q18.00	900	Q16,200

**Paso 2:** Ordenar por valor de consumo anual (de mayor a menor)

Producto	Valor Anual (Q)
Aceite vegetal	30,000
Frijol Negro	24,000
Leche en polvo	24,000
Café molido	21,000
Azúcar Blanca	20,000
Arroz Premium	20,000
Cereal integral	16,200
Harina de trigo	15,000
Galletas surtidas	12,000
Sal Refinada	10,000



Total del valor de consumo anual = **Q192,200**

**Paso 3:** Calcular el porcentaje del valor total y acumulado

Producto	Valor (Q)	% sobre total	% Acumulado	Clasificación ABC
Aceite vegetal	30,000	15.6%	15.6%	A
Frijol Negro	24,000	12.5%	28.1%	A
Leche en polvo	24,000	12.5%	40.6%	A
Café molido	21,000	10.9%	51.5%	A
Azúcar Blanca	20,000	10.4%	61.9%	A
Arroz Premium	20,000	10.4%	72.3%	A
Cereal integral	16,200	8.4%	80.7%	B
Harina de trigo	15,000	7.8%	88.5%	B
Galletas surtidas	12,000	6.2%	94.7%	C
Sal Refinada	10,000	5.2%	100%	C

### Conclusiones

- Los productos tipo A (Aceite, Frijol, Leche, Café, Azúcar, Arroz) representan el 72% del valor del inventario con solo 60% del total de ítems.
- Los productos tipo B (Cereal, Harina) representan el siguiente 16% del valor.
- Los productos tipo C (Galletas, Sal) son los de menor impacto económico, pero tienen alto volumen.

### Recomendaciones

- Para los productos A: usar políticas como revisión continua y aplicar herramientas como EOQ y punto de reorden para evitar faltantes.
- Para los productos B: se puede usar una política de revisión periódica mensual.
- Para los productos C: control mínimo y reposición menos frecuente (por lote o cuando haya espacio).

## HOJA DE TRABAJO No. 2

1. La librería “Lectura Viva” vende cuadernos a un ritmo de 8,000 unidades al año. El costo de colocar un pedido es de Q75, y el costo de almacenamiento anual por unidad es del 15% del valor unitario, siendo el precio de cada cuaderno Q12.

- Calcular la Cantidad Económica de Pedido (EOQ).
- Determinar el número de pedidos al año.
- Calcular el costo anual de preparación de pedidos.
- Calcular el costo anual de mantenimiento del inventario.

2. La empresa “Frutalex” distribuye jugos enlatados y tiene una demanda estable de 18,000 unidades anuales. El costo por pedido es de Q120, y el costo de mantener una unidad en inventario al año es de Q0.80.

- ¿Cuál es la cantidad óptima de pedido (EOQ)?
- ¿Cuántos pedidos realiza al año?
- ¿Cuál es el costo total de preparación?
- ¿Cuál es el costo total de mantenimiento anual?

3. La papelería “Alfa” vende paquetes de hojas tamaño carta. Su demanda anual es de 6,000 paquetes, con un costo de pedido de Q60. Cada paquete cuesta Q20, y el costo de almacenamiento anual es del 10% del valor del producto.

- Calcular la Cantidad Económica de Pedido (EOQ).
- ¿Cuántos pedidos se deben hacer por año?
- Calcular el costo de preparación anual.
- Calcular el costo de mantenimiento anual.

4. La tienda “Súper Hogar” vende diferentes productos de uso doméstico. A continuación, se presenta un listado con el nombre del producto, la cantidad vendida en el año y su precio unitario. Clasificar los productos utilizando el **método ABC**.

Producto	Cantidad Anual Vendida	Precio Unitario (Q)
Lavadoras	120	Q3,500
Plancha	600	Q200
Refrigeradoras	80	Q4,000
Licuadoras	400	Q350
Microondas	250	Q800
Batidoras	300	Q300
Cafeteras	150	Q400
Ventiladores	500	Q250
Tostadoras	700	Q180
Estufas	90	Q3,200

- ✚ **Calcular el valor total anual** por producto y graficarlo.
- ✚ **Ordenar** los productos de mayor a menor según su valor total anual.
- ✚ **Calcular el porcentaje del valor total** que representa cada producto.
- ✚ **Calcular el porcentaje acumulado**.
- ✚ **Clasificar cada producto** en A, B o C:

- Clase **A**: productos que representan aproximadamente el **80%** del valor total.
- Clase **B**: productos que representan el siguiente **15%**.
- Clase **C**: productos que representan el último **5%**.

## 5. Análisis grupal (Trabajo en equipos)

### Situación:

"Mini Market Central" es un negocio familiar que atiende a diario a su comunidad. Venden productos de alta rotación como papel higiénico, leche, galletas, arroz y bebidas. Sin embargo, han tenido problemas con su inventario: a veces hay sobrestock que ocupa mucho espacio, y otras veces se quedan sin productos clave.



Con el objetivo de tomar mejores decisiones en el manejo de existencias, la tienda ha decidido implementar una clasificación ABC y necesita que realices el análisis correspondiente.

### 1. Observando la imagen y el caso, respondan:

- ¿Qué errores comunes de inventario puedes identificar?
- ¿Qué consecuencias tiene no tener una política clara?
- ¿Qué productos podrían ser de tipo A, B y C usando el método ABC?

### 2. Debate en grupo:

¿Es mejor tener mucho inventario para no quedarse sin productos, o tener poco para ahorrar espacio y dinero? Justifiquen su postura.

### Parte B: Aplicación con cálculos (individual o en parejas)

La tienda vende 15,000 unidades de leche al año. Cada unidad cuesta Q4. El costo por pedido es Q90 y el costo de mantener inventario es del 20% del valor del producto.

### 1. Calcular:

- a) Cantidad económica de pedido (EOQ)
- b) Número de pedidos al año
- c) Costo total de preparación
- d) Costo total de mantenimiento

### 2. Basado en sus resultados, respondan:

- ¿Qué recomendarías al dueño de la tienda sobre la frecuencia de sus pedidos?
- ¿Cómo podrías aplicar el método ABC para clasificar los productos y tomar mejores decisiones?

## PRÁCTICA NO. 3

### EXPLOSIÓN DE MATERIALES

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos de la planificación de requerimiento de materiales.
- 1.2. Determinar las necesidades de inventario en un programa de producción.

#### 2. Marco Teórico:

**Planificación de requerimiento de materiales:** conocido como MRP por sus siglas en inglés, consiste en la determinación de los materiales necesarios para cumplir con el plan maestro de producción para un período determinado, tomando en consideración los niveles de inventario existentes al momento de realizar la producción. Para construir el plan de requerimientos de materiales es necesario contar con la información de la descripción de los productos, específicamente la materia prima e insumos necesarios para su fabricación. En base a esta estructura, se construye la lista de materiales que sirve de base para determinar los niveles de inventario necesarios según los niveles de producción establecidos en el plan maestro de producción.

La principal ventaja de la planificación de requerimiento de materiales es que permite optimizar los niveles de inventario según las necesidades del plan maestro de producción y evitar así el almacenamiento de materiales que no serán utilizados de manera inmediata. Esto, naturalmente, requiere que la relación con los proveedores permita hacer pedidos acordes a lo solicitado por producción en el tiempo oportuno.



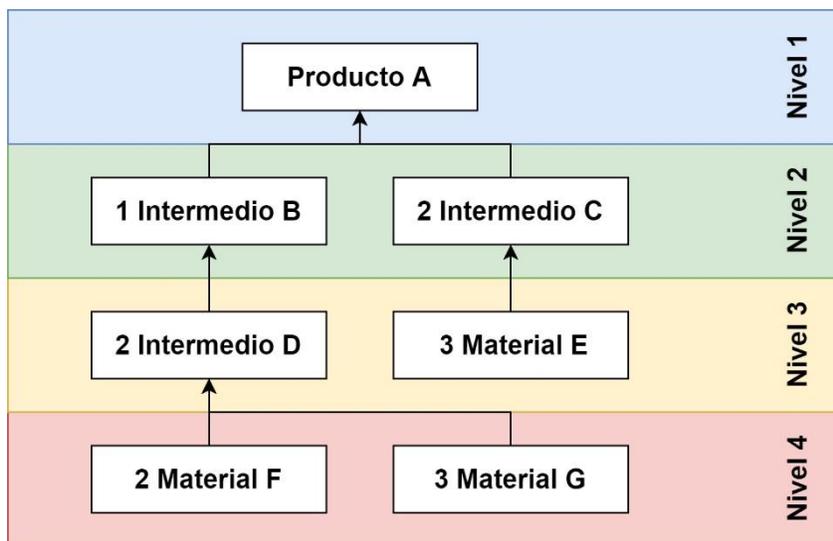
**Clasificación de los materiales según el proceso de fabricación:** en la estructura de la planificación de requerimiento de materiales, se pueden identificar varios tipos de materiales según su dependencia de otros, estos se clasifican de la siguiente manera:

- ✦ **Producto final:** es el producto terminado que se entrega al consumidor.
- ✦ **Producto intermedio:** es un elemento producido durante la fabricación del producto final, que se utiliza como una pieza de este.
- ✦ **Materia prima:** son los elementos que se adquieren de proveedores, regularmente por medio de una compra, que forman parte del producto final directamente o como parte de un producto intermedio.
- ✦ **Insumos:** son elementos que se utilizan durante el proceso productivo que no forman parte del producto final.

De esto se identifica que el producto final resulta del ensamble de varios productos intermedios y materias primas.

**Lista de materiales:** también conocido como *bill of materials*, es la descripción de los materiales necesarios para la fabricación de un producto, detallando las materias primas, productos intermedios y la forma en que estos se relacionan a partir de su estructura. También se deben identificar aquellos productos intermedios que son ensambles de materiales que son comprados como insumos o materia prima para determinar la futura necesidad de regular los niveles de inventario.

Ejemplo de un diagrama de estructura de la fabricación de un producto:



En el ejemplo anterior, para fabricar el producto A, se necesitan los subproductos o productos intermedios B y C, 1 y 2 unidades respectivamente. El producto intermedio B requiere de 2 unidades de producto intermedio D, este a su vez, necesita de 2 materias primas, 2 unidades del material F y 3 unidades del material G. El producto intermedio C requiere de tres unidades del material E.

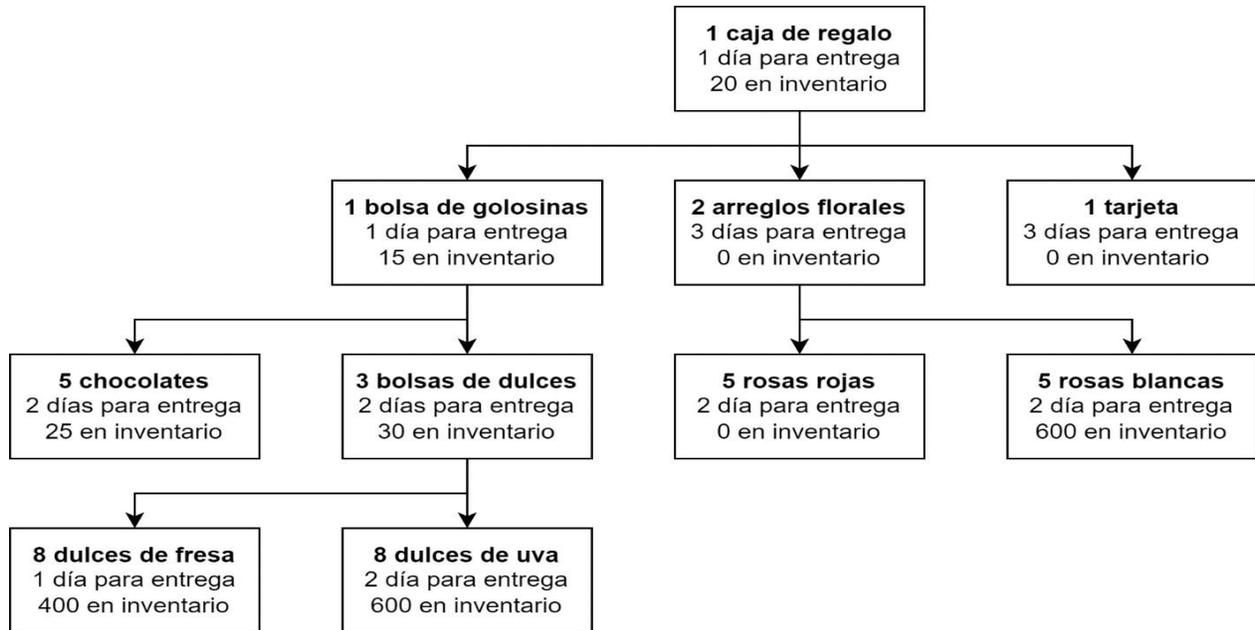
En base a esta información, cada vez que se requiere fabricar una unidad de producto A, según la estructura del producto, se puede saber la cantidad exacta de materia prima necesaria para producirlo, es decir, la cantidad de las materias primas, que son el material F, material G y material E. Esto se puede tabular para crear la lista de materiales. Un ejemplo considerando la estructura de producto anterior es el siguiente:

Nivel	Cantidad	Unidad	Descripción	Tipo
1	1	Pieza	Producto A	Producto
2	1	Pieza	Intermedio B	Producto intermedio
2	2	Pieza	Intermedio C	Producto intermedio
3	2	Pieza	Intermedio D	Producto intermedio
3	6	kg	Material E	Materia prima
4	4	m	Material F	Materia prima
4	6	Pieza	Material G	Materia prima

Por medio de esta información, cuando se recibe el plan maestro de producción se puede determinar fácilmente los requerimientos de materiales.

**Determinación de los requerimientos de materiales:** al obtener la lista de materiales se deben determinar los niveles de inventarios actuales de los materiales requeridos en la producción. Estos niveles son comparados con los requeridos por la producción y de esta manera se determina la brecha que se debe cubrir por medio de la compra de materia prima. Si se tiene información de los tiempos de entrega o producción de cada parte se pueden programar fácilmente los pedidos de cada uno.

**Ejemplo.** Se tiene un producto denominado “caja de regalo”, se ha pronosticado una demanda de 75 unidades para el día de las madres, 10 de mayo. Considerando la semana previa al 10 de mayo, construya la planificación de requerimiento de materiales, la información del producto incluyendo los tiempos de entrega y existencias en inventario se encuentran en el siguiente diagrama:



El primer paso para resolver el ejercicio es construir la lista de materiales. Se debe mencionar que la información anterior podría provenir de una ficha técnica del producto (para la estructura del producto), el área de bodega (para las existencias en inventario) y el departamento de compras (tiempos de entrega). En base al diagrama anterior se construye la lista de materiales:

Lista de materiales					
Nivel	Cantidad	Unidad	Descripción	Tipo	Tiempo de entrega (en días)
1	1	Unidad	Caja de regalo	Producto	1
2	1	Unidad	Bolsa de golosinas	Producto intermedio	1
2	2	Unidad	Arreglo floral	Producto intermedio	3
2	1	Unidad	Tarjeta	Materia prima	3
3	5	Unidad	Chocolate	Producto intermedio	2
3	3	Unidad	Bolsa de dulces	Producto intermedio	2
3	10	Unidad	Rosa roja	Materia prima	2
3	10	Unidad	Rosa blanca	Materia prima	2
4	24	Unidad	Dulce de fresa	Materia prima	1
4	24	Unidad	Dulce de uva	Materia prima	2

Una vez construida la lista de materiales y con la cantidad necesaria para producir según el programa de producción, se pueden construir los requerimientos de materiales al multiplicar cada uno por la demanda y colocarlos en un cronograma para ubicar los pedidos. Una vez hecho esto, a cada tipo de material se le resta el inventario inicial empezando desde el producto final. Esto se muestra en la siguiente tabla:

Nivel	Cantidad	Descripción	Tiempo de entrega (en días)		Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
1	1	Caja de regalo	1	Programado						75	75
				Inventario						20	
				<b>Requerimiento</b>						55	
2	1	Bolsa de golosinas	1	Programado					55		
				Inventario					15		
				<b>Requerimiento</b>					40		
2	2	Arreglo floral	3	Programado			110				
				Inventario			0				
				<b>Requerimiento</b>			110				
2	1	Tarjeta	3	Programado			55				
				Inventario			0				
				<b>Requerimiento</b>			55				
3	5	Chocolate	2	Programado			200				
				Inventario			25				
				<b>Requerimiento</b>			175				
3	3	Bolsa de dulces	2	Programado			120				
				Inventario			30				
				<b>Requerimiento</b>			90				
3	10	Rosa roja	2	Programado	1100						
				Inventario	0						
				<b>Requerimiento</b>	1100						
3	10	Rosa blanca	2	Programado	1100						
				Inventario	600						
				<b>Requerimiento</b>	500						
4	24	Dulce de fresa	1	Programado		2160					
				Inventario		400					
				<b>Requerimiento</b>		1760					
4	24	Dulce de uva	2	Programado	2160						
				Inventario	600						
				<b>Requerimiento</b>	1560						

Se inicia el análisis por el nivel más elevado de la lista de materiales, esta será siempre el producto final. Se coloca la cantidad que se tiene programado, la cantidad en inventario y la diferencia entre estos, esta diferencia será el requerimiento de este material. Este último valor se utiliza para calcular los siguientes niveles con la misma metodología para completar la tabla.

La tabla anterior puede ser ampliada con más información, por ejemplo, si se conocen los costos de los pedidos se pueden calcular los desembolsos en cada uno de los días; si ya hay pedidos programados que se encuentran en camino de alguno de los materiales, se pueden colocar para poder determinar los niveles de inventario reales para el análisis. En el ejemplo, a pesar de que las cajas se utilizarán el día 10 de mayo, se programan un día antes debido al tiempo de entrega, esto significa que para el día 10 estos productos ya se deben encontrar listos para la venta. Una versión ampliada de la información de la tabla anterior podría ser:

- ✦ Demanda programada
- ✦ Entradas programadas
- ✦ Inventarios disponibles proyectados
- ✦ Requerimientos netos
- ✦ Entradas de pedidos planificados
- ✦ Expedición de pedidos planificados

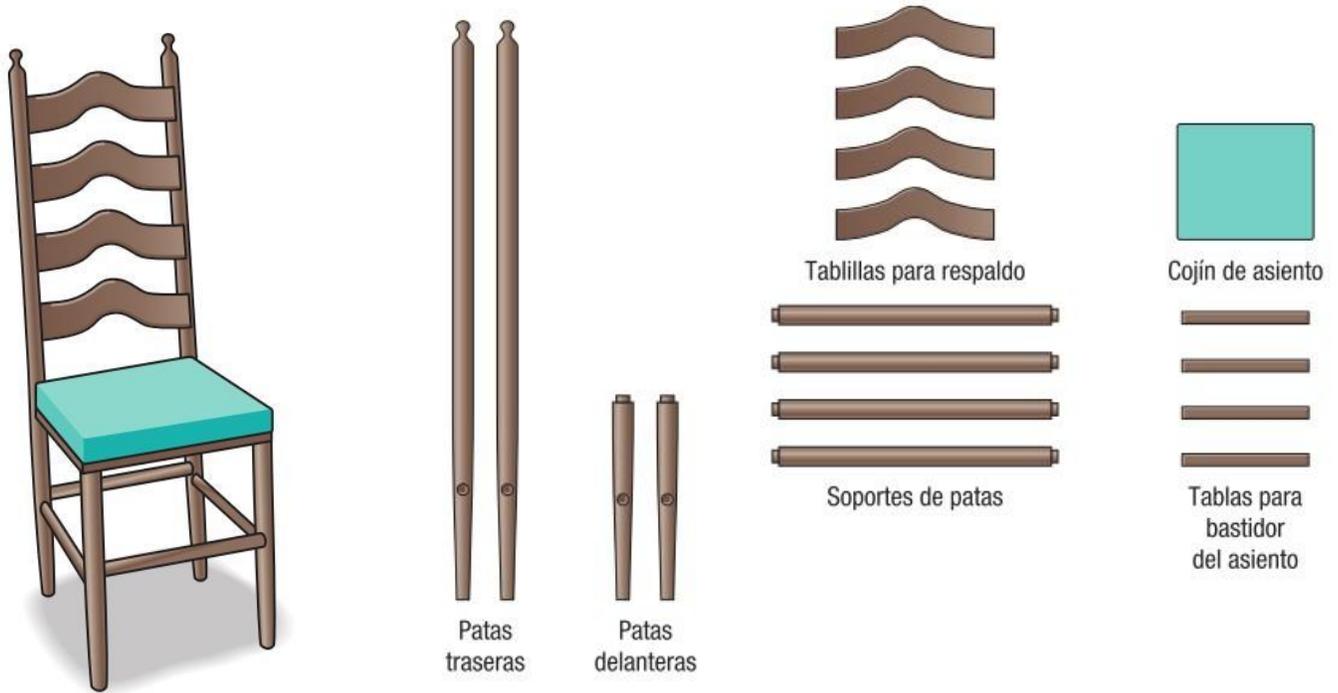
Los productos intermedios o materias primas pueden ser comprados o fabricados por la empresa, la planificación de requerimiento de materiales solamente indica cuánto se debe tener de cada material en cada fecha según las condiciones de operación, este plan puede ser utilizado por el área de producción para programar las operaciones o por el área de compras para colocar los pedidos.

La metodología presentada anteriormente es útil principalmente en la industria de producción intermitente que requiere algún tipo de ensamble. Los servicios y aquellos productos que siempre están en producción podrían utilizar esta metodología con algunas modificaciones para tener en consideración la naturaleza de sus procesos.

Se debe observar que, como resultado del análisis realizado y las cantidades solicitadas, al finalizar el proceso productivo **el inventario de todos los materiales se encontrará sin existencias**. Esto no siempre es lo ideal, la empresa podría tener una política de inventario que requiera mantener un nivel de seguridad de existencias, únicamente se deberá tener presente estos datos al realizar los cálculos. También debe tenerse presente que es posible que algunos proveedores únicamente suministren en volúmenes predeterminados.

### HOJA DE TRABAJO 3

**Caso 1.** Se tiene la siguiente información de los materiales necesarios para la producción de una silla de madera:



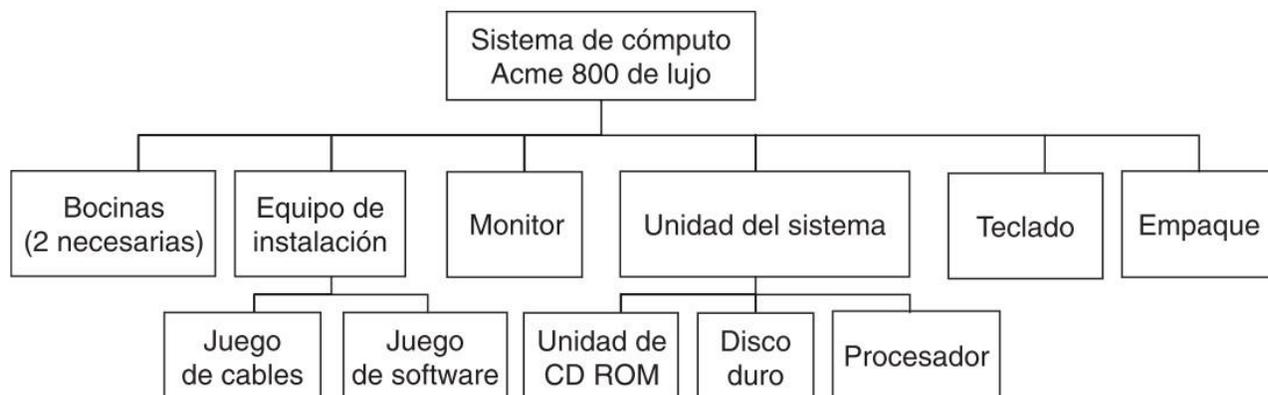
Considere lo siguiente:

- ✦ El cojín de asiento y las tablas de bastidor del asiento se ensamblan en un “asiento para silla” antes de armar el producto final.
- ✦ Las patas traseras y las tablillas tipo respaldo se ensamblan en un “respaldo tipo escalera” antes de armar el producto final.
- ✦ Al finalizar la producción, se desea tener un inventario de seguridad de 10 sillas.

Con la información anterior, construya la lista de materiales y determine los requerimientos de estos si se desea producir 90 unidades el día 15, teniendo presente los siguientes registros del inventario:

Material	Inventario inicial	Tiempo de entrega (días)
Silla	11	2
Asiento para silla	15	1
Cojín de asiento	7	3
Tablas para bastidor del asiento	0	1
Respaldo tipo escalera	20	1
Tablillas para respaldo	0	1
Soporte de patas	300	2
Patas traseras	20	3
Patas delanteras	0	1

**Caso 2.** Se tiene la siguiente información de los materiales necesarios para la producción de un equipo de computación:



Con la información anterior, construya la lista de materiales y determine los requerimientos de estos si se desea producir 500 unidades en la semana 10, teniendo presente los siguientes registros del inventario:

Material	Inventario inicial	Tiempo de entrega (semana)
Sistema de cómputo	0	1
Bocinas	500	1
Equipo de instalación	135	6
Juego de cables	300	1
Juego de software	0	0
Monitor	40	2
Unidad del sistema	20	4
Unidad de CD-ROM	0	1
Disco duro	0	2
Procesador	125	3
Teclado	80	2
Empaque	100	5

**Caso 3.** El producto “X” cuenta con la siguiente estructura de producto. Además, se presentan detalles relevantes para cada componente.

- Complete el programa maestro y genere los registros MRP para cada uno de los componentes.
- Suponga que el proveedor de las 600 partes “C” programadas para la semana 1 le notifica que un problema con el equipo provocó que las partes le sean enviadas hasta la semana 3.

¿Cuáles son las implicaciones de esto? Describa TODAS las opciones posibles en este caso.

## Producto "X"

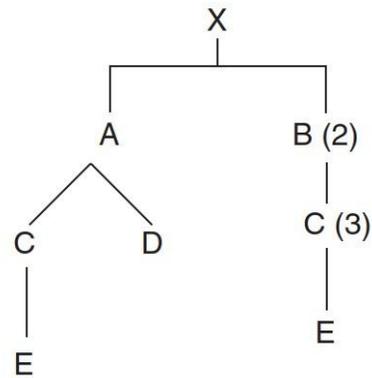
Disponibilidad = 30

Inventario de seguridad = 0

Barrera de tiempo de demanda = 2

Barrera de tiempo de planificación = 10

Tamaño de lote = 50



Programa maestro para X:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Pronóstico</b>	20	25	20	30	20	20	25	25	25	25
<b>Pedidos de clientes</b>	26	21	13	8	3	1	0	0	5	0
<b>Proyección de disponibilidad</b>										
<b>Disponible para promesa</b>										
<b>PMP</b>		50		50		50		50		50

Información de los componentes:

Componente	A	B	C	D	E
Tamaño de lote	Lote por lote	150	600	70	1000
Disponibilidad	20	30	110	55	0
Tiempo de espera	1	2	3	1	2
Inventario de seguridad	Ninguno	Ninguno	100	20	Ninguno
Recepciones programadas	Ninguno	150, Sem 2	600, Sem 1	Ninguno	1000, Sem 1

## PRÁCTICA NO. 4

### PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES A CORTO PLAZO

#### 1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos de la planificación de requerimiento de materiales.
- 1.2. Determinar las necesidades de inventario en un programa de producción.

#### 2. Marco Teórico:

**Programación a corto plazo:** Los planes de capacidad suelen ser anuales cuando se compran o descartan equipos e instalaciones nuevos. Los planes agregados son el resultado de la planeación de ventas y operaciones donde se toman las decisiones referentes al uso de las instalaciones, del inventario, de las personas y de la contratación externa. Por lo general, los planes agregados abarcan de 3 a 18 meses, y los recursos se asignan en términos de una medida agregada como unidades, toneladas u horas en planta totales. El programa maestro desarticula el plan agregado y prepara un programa para productos específicos o líneas de producto para cada semana. Después, los programas a corto plazo traducen las decisiones sobre la capacidad, los planes agregados y los programas maestros en secuencias de tareas y asignaciones específicas de personal, materiales y maquinaria.

Una de las dificultades de la programación es que con frecuencia se presentan metas conflictivas. Los objetivos de las diferentes partes de la compañía no siempre son los mismos. Algunos de los propósitos más comunes son:

1. Cumplir con las fechas de entrega.
2. Minimizar el inventario del trabajo en proceso.
3. Minimizar el tiempo promedio de flujo a través del sistema.
4. Suministrar un elevado tiempo de uso de máquina/trabajador.
5. Suministrar información exacta del estado de los trabajos.
6. Reducir los tiempos de preparación.
7. Minimizar los costos de producción y de los trabajadores.

Algunos de estos objetivos entran en conflicto. Si la finalidad principal consiste en reducir el inventario del trabajo en proceso (por ejemplo, con los sistemas de control de inventario justo a tiempo), es probable que aumente el tiempo muerto del trabajador. A medida que el sistema se estrecha por la reducción del inventario dentro y entre las operaciones de manufactura, las diferencias en la tasa de producción de una parte del sistema a otra pueden forzar la espera de operaciones más rápidas.

**Procedimiento general:** para programar y controlar una operación deben ejecutarse las funciones siguientes:

1. Asignar pedidos, equipo y personal a centros de trabajo y otras ubicaciones especificadas. En esencia, se trata de la planificación de capacidad de corto plazo.
2. Determinar la secuencia de realización de los pedidos (es decir, establecer prioridades laborales).
3. Iniciar el desempeño del trabajo programado. Es lo que por lo general se llama despachar pedidos.
4. Control del taller (o control de actividades de producción) que implica la revisión del estado y control del progreso de los pedidos conforme se trabajan, así como la expedición de pedidos retrasados y muy importantes.

Al comienzo del día, el programador (en este caso, una persona de control de producción encargada del departamento) escoge y secuencia los trabajos por efectuar en las estaciones de trabajo individuales. Las

decisiones del programador deben basarse en las operaciones y requisitos de tránsito de cada trabajo, estado de los trabajos en los centros, fila de trabajos de los centros, prioridades laborales, disponibilidad de materiales, pedidos anticipados que quedarán listos en el día y capacidades de recursos de los centros de trabajo (mano de obra o maquinaria). Para organizar la programación, el programador recurre a la información sobre el estado de los trabajos del día anterior, información externa proporcionada por el control central de producción, ingeniería de procesos, etc. El programador también se reúne con el supervisor del departamento para hablar de la viabilidad del programa, en particular sobre consideraciones acerca de la mano de obra y posibles cuellos de botella. Los detalles del programa se comunican a los trabajadores mediante listas de despacho mostradas en las terminales de cómputo, impresiones en papel o con una lista pegada en espacios centrales acerca de lo que hay que trabajar. Los tableros de programación visibles son muy buen método para comunicar la prioridad y el estado actual del trabajo.

**Factores significativos en la programación:** el objetivo de la programación es asignar y priorizar la demanda (generada por los pronósticos o pedidos de los clientes) a las instalaciones disponibles. Dos factores significativos en la programación son la generación del programa hacia adelante o hacia atrás y la carga finita e infinita. A continuación, se analizan estos temas.

**Programación hacia adelante y hacia atrás:** la programación se puede iniciar hacia adelante o hacia atrás. La programación hacia adelante inicia el programa tan pronto como se conocen los requerimientos del trabajo. Una gran variedad de organizaciones utiliza la programación hacia adelante, entre las cuales se encuentran los hospitales, las clínicas, los restaurantes y los fabricantes de máquinas-herramienta. En estas instalaciones, los trabajos se realizan por pedidos de los clientes y la entrega a menudo se programa en la fecha más cercana posible.

La programación hacia atrás inicia con la fecha de entrega, y programa primero la operación final. Después programa uno por uno los pasos del trabajo en orden inverso. Al restar el tiempo de entrega de cada artículo se obtiene el tiempo de inicio. La programación hacia atrás se usa en muchos entornos tanto de manufactura como de servicios; por ejemplo, en el abastecimiento necesario para preparar un banquete o en la programación de una cirugía. En la práctica, es posible que se use una combinación de las programaciones hacia adelante y hacia atrás a fin de encontrar una compensación razonable entre las restricciones de capacidad y las expectativas del cliente.

**Carga finita e infinita:** la carga es el proceso de asignar tareas a estaciones de trabajo o procesos. Las técnicas de programación que cargan (o asignan) trabajo sólo hasta la capacidad del proceso se denominan de carga finita. La ventaja de la carga finita es que, en teoría, todo el trabajo asignado se puede lograr. Sin embargo, debido a que sólo se carga el trabajo que puede lograrse en las estaciones de trabajo (cuando en realidad puede ser más trabajo que capacidad) las fechas de entrega pueden llevarse hasta a un tiempo futuro inaceptable.

Las técnicas que cargan trabajo sin tomar en cuenta la capacidad del proceso es de carga infinita. Se asigna todo el trabajo que debe realizarse en un periodo determinado. No se considera la capacidad del proceso. La mayoría de los sistemas de planeación de requerimientos de materiales (MRP) son sistemas de carga infinita. La ventaja de esta carga es un programa inicial que cumple con las fechas de entrega. Por supuesto, cuando la carga de trabajo supere la capacidad, será necesario ajustar la capacidad o el programa.

Del mismo modo que hay muchos programas factibles para un grupo específico de tareas en un conjunto determinado de estaciones de trabajo, también existen muchas formas diferentes de generar programas. Éstas abarcan desde métodos manuales sencillos, como la manipulación de gráficos de Gantt, hasta modelos de computadora muy complejos, para elaborar los programas óptimos. Una manera de generar programas en las plantas de producción intermitente es el procedimiento de secuencia del trabajo, que permite que el programa de una estación de trabajo evolucione a lo largo de cierto periodo.

La decisión acerca de qué trabajo deberá procesarse a continuación se toma por medio de reglas o criterios de prioridad simples, siempre que la estación de trabajo está disponible para otros trabajos de procesamiento. Una ventaja de este método es que a medida que el programa evoluciona, la información de último minuto acerca de las condiciones de operación se puede incorporar a dicho programa.

**Secuencia de los trabajos:** método para generar programas en las plantas de producción intermitente en el que la decisión acerca de qué trabajo deberá procesarse a continuación se toma por medio de reglas de prioridad simples, siempre que la estación de trabajo está disponible para otros trabajos de procesamiento. Con las reglas o criterios de prioridad se obtiene una secuencia de los trabajos.

**Criterios de prioridad:** reglas que especifican la secuencia de procesamiento de los trabajos cuando varios trabajos están esperando en fila en una estación de trabajo, entre estos se encuentran:

- ✦ **Primeras llegadas, primeras salidas (FCFS).** Los trabajos se procesan en el orden en que entraron al taller.
- ✦ **Tiempo de procesamiento más corto primero (SPT).** Los trabajos se ordenan de manera ascendente correspondiendo con los tiempos de procesamiento. El trabajo con el tiempo de procesamiento más corto es el primero, el trabajo con el siguiente tiempo de procesamiento más corto es el segundo, etcétera.
- ✦ **Primera fecha de entrega (EDD).** Los trabajos se ordenan de manera ascendente de acuerdo con sus fechas de vencimiento. El trabajo con la fecha de entrega más próxima es el primero, el trabajo con la siguiente fecha de entrega más próxima es el segundo, etcétera.
- ✦ **Programación basada en la razón crítica (CR).** En este caso se requiere calcular la relación del tiempo de procesamiento del trabajo, dividido entre el tiempo restante hasta la fecha de vencimiento, y programar el trabajo con la siguiente relación más grande.

$$CR = \frac{\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}}{\text{Tiempo total restante en la planta}}$$

$$\text{Tiempo total restante en la planta} = (\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}) - \text{Tiempo de procesamiento}$$

La diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha de hoy tiene que expresarse en las mismas unidades de tiempo que el tiempo total restante en la planta. Una razón menor que 1.0 implica que el trabajo está retrasado con respecto al programa, y una razón mayor que 1.0 implica que el trabajo está adelantado con respecto al programa. El trabajo que tenga la CR más baja debe programarse como el siguiente en el orden de procesamiento.

Aun cuando las reglas para la secuencia de prioridades parecen sencillas, la tarea propiamente dicha de programar centenares de trabajos a través de cientos de estaciones de trabajo requiere una intensa labor de recopilación y manipulación de datos. El programador necesita información sobre los siguientes requisitos de procesamiento de cada trabajo: la fecha de vencimiento de este, sus rutas, la preparación estándar, el procesamiento y los tiempos de espera previstos en cada operación; si existe la posibilidad de usar otras estaciones de trabajo en cada operación; así como los componentes y materias primas que se requieren en cada operación.

Además, el programador tiene que conocer la situación actual del trabajo: su localización (si está en una fila de espera en una estación de trabajo o se está procesando en una estación de trabajo), la parte de la operación que ya se haya realizado, los tiempos reales de llegada y salida en cada operación o fila de espera, y los tiempos reales de procesamiento y preparación. El programador aplica las reglas para la secuencia de prioridades a fin de determinar el orden en el que serán procesados los trabajos en una estación de trabajo y la información restante para estimar los tiempos de llegada de cada trabajo a la siguiente estación, decide si deberá utilizarse

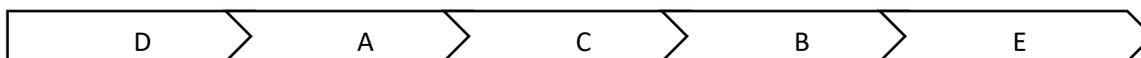
otra estación de trabajo cuando la principal esté ocupada y pronostica la necesidad de emplear equipo para manejo de materiales. En virtud de que esta información puede cambiar a lo largo del día, se requieren computadoras para estar al tanto de los datos y mantener la validez de las prioridades.

En la práctica, los programas de operaciones resultan complicados de mantener, si no es que imposibles, porque las condiciones se modifican con frecuencia: una máquina se descompone, un operador calificado se enferma, los materiales no llegan a tiempo, etc. En consecuencia, el programa de operaciones debe ajustarse en tiempo real para determinar qué trabajo será el siguiente en procesarse. No puede elaborarse un nuevo programa de operaciones cada vez que hay un cambio; más bien, durante la ejecución de este, se ajusta el programa en tiempo real a través de los criterios de prioridad. Es posible utilizar cualquier regla sobre la secuencia de prioridades para programar cualquier número de estaciones de trabajo con el procedimiento de secuencia del trabajo. Sin embargo, con el propósito de ilustrar esas reglas, la atención se centrará en programar varios trabajos en una sola máquina.

**Ejemplo.** Los 5 trabajos que se presentan más abajo están esperando su operación final en un centro de trabajo. Determine el orden de procesamiento de los trabajos utilizando las siguientes reglas: tiempo de procesamiento más corto, primera fecha de entrega, el primero en llegar es el primero en salir y razón crítica. Como fecha de hoy se toma 0.

Trabajo	Tiempo de procesamiento	Orden de llegada del pedido	Fecha de entrega
A	5	3	10
B	7	1	18
C	6	2	29
D	2	5	12
E	10	4	19

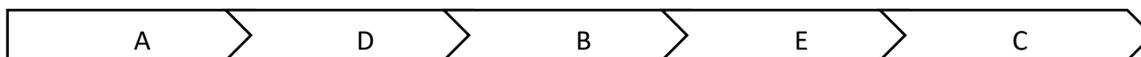
La regla tiempo de procesamiento más corto asigna primero los trabajos que tienen la cantidad más pequeña de tiempo de procesamiento. El trabajo con la siguiente cantidad más pequeña de tiempo de procesamiento se asigna para producirse a continuación y así sucesivamente. De acuerdo con esta regla, se harían las siguientes asignaciones:



La regla del primero en llegar es el primero en salir asigna el trabajo que llegó antes que todos los demás para que se procese primero y así sucesivamente. De acuerdo con esta regla, se harían las siguientes asignaciones:

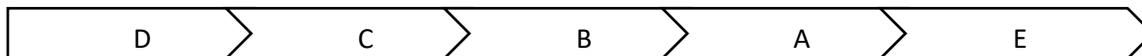


La regla la primera fecha de entrega indica que se deben priorizar aquellos pedidos que están más próximos a vencer. De acuerdo con esta regla, se harían las siguientes asignaciones:



La regla de la razón crítica asigna los trabajos con base en la razón mínima del tiempo total restante al tiempo total de procesamiento restante. En este caso, se toma la razón de la fecha de entrega a los tiempos de procesamiento en el cuadro y se arreglan los trabajos en forma de secuencia desde aquel que tenga la razón menor hasta el que tenga la razón mayor, lo que da como resultado la siguiente secuencia:

Trabajo	Tiempo total restante en la planta	Razón crítica
A	5	2.00
B	11	1.63
C	23	1.26
D	10	1.20
E	9	2.11



Según la regla o criterio que se haya seleccionado, se pueden determinar los tiempos que tendrá que esperar cada trabajo, la fecha de inicio del trabajo, la fecha de finalización del trabajo y el tiempo de adelanto o retraso (si lo hubiere).

**Tiempo de procesamiento más corto, secuencia DACBE:**

Trabajo	Fecha de inicio	Tiempo de procesamiento	Fecha de finalización	Fecha de entrega	Tiempo de adelanto	Tiempo de retraso
A	2	5	7	10	3	
B	13	7	20	18		2
C	7	6	13	29	16	
D	0	2	2	12	10	
E	18	10	28	19		9

El programa según el criterio del tiempo de procesamiento más corto brinda un programa donde se tiene un total de 29 unidades de tiempo de adelanto y 11 unidades de tiempo de retraso.

**Primero en llegar, primero en salir, secuencia BCAED:**

Trabajo	Fecha de inicio	Tiempo de procesamiento	Fecha de finalización	Fecha de entrega	Tiempo de adelanto	Tiempo de retraso
A	13	5	18	10		8
B	0	7	7	18	11	
C	7	6	13	29	16	
D	28	2	30	12		18
E	18	10	28	19		9

El programa según el criterio del primero en entrar, primero en salir brinda un programa donde se tiene un total de 27 unidades de tiempo de adelanto y 35 unidades de tiempo de retraso.

**Primera fecha de entrega, secuencia ADBEC:**

Trabajo	Fecha de inicio	Tiempo de procesamiento	Fecha de finalización	Fecha de entrega	Tiempo de adelanto	Tiempo de retraso
A	0	5	5	10	5	
B	7	7	14	18	4	
C	24	6	30	29		1
D	5	2	7	12	5	
E	14	10	24	19		5

El programa según el criterio la primera fecha de entrega brinda un programa donde se tiene un total de 14 unidades de tiempo de adelanto y 6 unidades de tiempo de retraso.

**Razón crítica, secuencia DCBAE:**

Trabajo	Fecha de inicio	Tiempo de procesamiento	Fecha de finalización	Fecha de entrega	Tiempo de adelanto	Tiempo de retraso
A	15	5	20	10		10
B	8	7	15	18	3	
C	2	6	8	29	21	
D	0	2	2	12	10	
E	20	10	30	19		11

El programa según el criterio la primera fecha de entrega brinda un programa donde se tiene un total de 34 unidades de tiempo de adelanto y 21 unidades de tiempo de retraso.

De lo anterior, se observa que el programa creado con el criterio de primera fecha de entrega es que el proporcionará la menor cantidad de unidades de tiempo de retraso, se podría considerar éste como el programa más adecuado si esto es lo más importante en la decisión. Sin embargo, el programa creado con el criterio del tiempo de procesa miento más corto, para este caso, proporcionó el mayor tiempo de adelanto en los pedidos, esto podría ser alguna otra forma de ver el problema. Sea cual sea el programa seleccionado, estos deben ser revisados frecuentemente según los cambios que se den en la ejecución de estos.

Las reglas de programación que se han descrito suelen aplicarse en entornos de producción donde no se utilizan sistemas integrados de control de la producción, por ejemplo, en talleres pequeños. En aquellos entornos donde se utilizan métodos integrados (por ejemplo, MRP o sistemas de arrastre Kanban), son los propios sistemas los que proporcionan prioridades inherentes de programación.

**Sistemas de planificación de requerimiento de materiales:** como el programa maestro se “explota” mediante la lógica de MRP, la fecha de vencimiento señalada en el programa maestro para cada artículo y los ajustes por tiempos de espera que utiliza la lógica MRP generarán fechas de vencimiento para todos los subensamblajes y componentes. Estas fechas de vencimiento se emplean después para establecer el orden de prioridad para la producción. En consecuencia, el método MRP usa la programación de prioridades de fecha de vencimiento como parte de la lógica básica del sistema.

**Sistemas de arrastre (pull) Kanban:** los sistemas de son, en esencia, sistemas reactivos que generan información sobre la demanda a partir del uso del material. Las señales de producción provienen de la necesidad de reemplazar el material que se ha sido “arrastrado” desde el inventario para su procesamiento. En este sentido, los sistemas de arrastre son básicamente sistemas de prioridad del tipo primero en llegar, primero en ser atendido. La principal diferencia entre ambos surge cuando se presentan múltiples requerimientos de arrastre prácticamente simultáneos al centro de trabajo. En otras palabras, podría resultar difícil determinar cuál requerimiento se generó primero. Por otro lado, además de reconocer una señal de arrastre que llegue primero al centro, casi siempre es importante evaluar las necesidades de material implícitas. La modificación del orden de prioridad es resultado de la información sobre la tasa de producción o de la necesidad de material a medida que se utiliza en centros de trabajo subsiguientes. En este sentido, la recomendación es que cuando llega una señal de arrastre para múltiples partes prácticamente al mismo tiempo, es mejor procesar primero el material que se utiliza con más rapidez en centros de trabajo subsiguientes.

**Acciones correctivas:** es evidente que casi todos los métodos analizados cuentan con un supuesto básico: que los tiempos de proceso y otros elementos del tiempo de espera se conocen y son precisos. Sin embargo, se sabe que en la práctica rara vez éste es el caso. Existen elementos subjetivos al desarrollar los tiempos estándar; la “curva de aprendizaje” alterará de manera constante el tiempo de procesamiento real, y todo tipo de condiciones en la planta de producción afectarán el tiempo real disponible para realizar muchas de las tareas. En consecuencia, es muy probable que se requieran acciones correctivas de vez en cuando. Algunas de las acciones correctivas más comunes incluyen:

- ✦ **Subcontratación o adquisición de componentes:** esto implica adquirir las partes requeridas en lugar de fabricarlas, o contratar una organización externa para que fabrique las partes en lugar de utilizar las instalaciones de producción internas.
- ✦ **División por lotes:** implica considerar sólo la cantidad mínima de partes y presionar el proceso para su finalización. Esto permitirá despachar una cantidad mínima al cliente mientras que se deja el resto del pedido pendiente para completarlo en una fecha posterior.
- ✦ **Traslape de operaciones:** esto implica desplazar parte del pedido a la siguiente operación antes de que la actual lo haya terminado de procesar. Generalmente este método permitirá completar más rápido el pedido.
- ✦ **Ruteo alternativo:** esto implica desplazar la tarea a las operaciones que normalmente no se utilizan para la producción, sobre todo cuando los recursos primarios de producción no están disponibles o ya están comprometidos en otro trabajo.
- ✦ **Cancelación de pedidos:** el último recurso, pero puede utilizarse cuando el costo de finalizar el pedido utilizando estas acciones correctivas pudiera exceder la utilidad esperada. Sin duda es preciso tomar en consideración la relación con el cliente y la reputación de largo plazo antes de utilizar este método.

## HOJA DE TRABAJO 4

**Caso 1.** La siguiente lista de trabajos de un departamento muy importante incluye los cálculos de sus tiempos requeridos:

Trabajo	Tiempo requerido (días)	Orden de llegada del pedido	Fecha de entrega
A	8	1	12
B	3	2	9
C	7	3	8
D	1	4	11
E	10	5	- 10 (retraso)
F	6	6	10
G	4	7	- 8 (retraso)
H	5	8	6

Responda a las siguientes preguntas:

Si los clientes están dispuestos a aceptar un retraso en sus trabajos sin molestarse, ¿cuál criterio de prioridad debería utilizar y por qué?

Si los clientes pueden molestarse por el hecho de que sus trabajos no están terminados exactamente cuando les fueron prometidos, ¿cuál criterio de prioridad debería utilizar y por qué?

Al jefe de producción no le gusta los programas anteriores. Los trabajos E y G deben hacerse primero, por razones obvias (ya están retrasados). Programe de nuevo y haga lo mejor que pueda, con los trabajos E y G en primero y segundo lugar, respectivamente.

**Caso 2.** Ben es dueño de un taller de reparación de bicicletas, y cada día de trabajo (de 10 horas) le esperan las siguientes tareas. El compromiso con sus clientes fue que todas las tareas de reparación de bicicletas que se presentan a continuación estarían listas en ciertas horas del día de hoy. Determine el orden de prioridad para programar las tareas utilizando reglas de tiempo de primera fecha de entrega; primero en llegar, primero en ser atendido; tiempo de procesamiento más corto; y razón crítica. Las tareas se muestran en el orden en el que los clientes las solicitaron.

Reparación	Tiempo estimado de reparación (horas)	Orden de llegada del pedido	Plazo de entrega en horas
A	2.5	1	2
B	0.5	2	3
C	1.5	3	5
D	2.0	4	5
E	0.5	5	6
F	1.0	6	7
G	1.0	7	9
H	1.5	8	10

Responda a las siguientes preguntas:

Si los clientes de Ben están dispuestos a aceptar un ligero retraso en sus trabajos sin molestarse, ¿cuál criterio de prioridad debería utilizar y por qué?

Si los clientes pueden molestarse por el hecho de que sus trabajos no están terminados exactamente cuando les fueron prometidos, ¿cuál criterio de prioridad debería utilizar Ben y por qué?

A partir de la información que se tiene disponible, ¿cuál método/enfoque le recomendaría a Ben que adoptara en el futuro antes de efectuar sus tareas de programación?

**Caso 3.** Las siguientes tareas están en espera de ser procesadas en un centro de trabajo. Se tienen 7 horas por cada día productivo. Estamos en el principio del día 211. Los días de vencimiento se presentan cuando las tareas no se han completado en el día prometido, y se listaron según el orden en que llegaron al centro de trabajo. Éste utiliza un sistema de prioridad de fecha de vencimiento con un sistema de primero en llegar, primero en ser atendido para evitar los casos de “empate”.

Trabajo	Cantidad de piezas	Fecha de vencimiento (días)	Tiempo de preparación del equipo (min)	Tiempo estándar por pieza (min)
A	120	211	30	2.1
B	200	212	40	1.7
C	100	212	20	1.2
D	250	213	35	1.5
E	150	214	50	2.3
F	200	214	65	3.2
G	150	214	30	1.9

Responda a las siguientes preguntas:

- ¿Qué posibles problemas identifica y cómo los resolvería?
- ¿Cuál criterio de prioridad debería utilizar y por qué?

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chapman, S. (2006). *Planificación Y Control De La Producción* (1.a ed.). Pearson Educación.
2. Chase, R., & Jacobs, R. (2022). *Administración De Operaciones* (13.ª ed.). McGraw Hill Education.
3. Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones* (5.ª ed.). Alianza Editorial.
4. Render, B., & Heizer, J. (2013). *Principios De Administración De Operaciones - 9ª Edición* (9.ª ed.). Pearson Educación.
5. Shroeder, R. (2022). *Administración De Operaciones* (5.a ed.). MCGRAW HILL EDUCATION.
6. Urbina, G. B., Valderrama, M. C., Vázquez, I. M. A. C., Cruz, G. B., Matus, J. C. G., Espejel, A. A. P., González, A. E. R., & González, A. E. R. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial* (2.ª ed.). Grupo Editorial Patria.
7. Nahmias, S. (2009). *Production and Operations Analysis*. McGraw-Hill.
8. Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.
9. Render, B., Heizer, J., & Munson, C. (2017). *Operations Management*. Pearson.