
Otrora el oír el término Monte Carlo era sinónimo de juegos de azar; el tratar de vencer a la "Banca" llevó a analizar con profundidad posibles apoyos científicos. Hace varios años que se da utilización a algunos logros tal como lo muestra nuestro colaborador.

Autrefois le terme "Monte Carlo" ere synonyme des jeux de hasard; en essayant, de vaincre la "Banque" on a été amené à analyser d'une façon plus pauses la possibilité d'appuis scientifiques. Depuis quelques années on utilisé quelques uns deces résultats scientifiques comme le montre notre collaborateur.

Once upon a time, "Monte Carlo" was a synonym of games of chance. Trying to disrupt the house, brought as a consequence a deep analysis of possible scientific bases. Some of these achievements have been used in practice for many years, as shown by the author.

administración y monte carlo

Ing. Salvador Cardona.

Subdirector Banco Nacional
de México, S. A.

I.—INTRODUCCION

Decidir es una actividad fundamental para el administrador, pero al decidir es muy importante tomar **buenas** decisiones.

Ahora bien, ¿es fácil tomar buenas decisiones?

Si se considera como marco de referencia un sistema socio-económico poco desarrollado

o simplemente problemas sencillos, la respuesta a la pregunta anterior es: SI. Sin embargo, el mundo de la actualidad y más específicamente, el mundo de los negocios de nuestra época, tiene como característica distintiva la complejidad.

Esta complejidad se refiere, no sólo a la gran interacción que existe entre los distintos factores, sino también al número y dimensio-



nes de los problemas a resolver. En estas condiciones la respuesta a la pregunta planteada pasa a ser: YA NO es fácil tomar buenas decisiones en muchas de las actividades administrativas modernas.

Por fortuna, en forma casi simultánea a la aparición del problema surgen soluciones para resolverlo, y entre ellas se puede identificar el conjunto de técnicas conocido con el nombre de Investigación de Operaciones. Estas técnicas, a pesar de su reciente aparición, han adquirido una personalidad tal que no es incorrecto considerarlas como generatrices de una nueva ciencia.

La Investigación de Operaciones, nacida en los fragores de la guerra (1) pero desarrollada ampliamente en las actividades industriales y comerciales de la paz, puede definirse como "la preparación científica de decisiones".

Por "preparación" se quiere indicar "dar mejores bases, cuantitativas en cuanto sea posible, para poder tomar buenas decisiones". Debe señalarse que el evaluar los resultados a que se puede llegar con cada una de las alternativas de acción disponibles, no implica en ninguna forma que el administrador pierda su libertad de decisión; antes bien, podrá tener una mayor información útil para seleccionar aquella alternativa que mejor cumpla con las políticas y objetivos de la empresa.

La palabra "científica" está relacionada con los métodos empleados por la Investigación de Operaciones para analizar los problemas planteados: se trata, en efecto, de usar la metodología científica que tanto éxito ha tenido en muchas ramas del saber para analizar en forma **sistemática** los problemas a que se enfrenta el administrador moderno.

De esta metodología científica la Investigación de Operaciones toma una de sus discipli-

(1) Las primeras Investigaciones de Operaciones Militares se desarrollaron durante la famosa batalla de Inglaterra. De allí el origen del nombre de la nueva ciencia que se conserva por razones históricas, pero que es muy inadecuado desde el punto de vista descriptivo.

nas más poderosas, las matemáticas, para el logro de sus objetivos. Con esta arma se pueden analizar, diseccionar, examinar hasta su parte más profunda muchos problemas administrativos: se llega hasta el corazón mismo de la situación estudiada.

El uso de las matemáticas, por otro lado, implica una dificultad de comunicación: el administrador puede desconocer la técnica y la terminología de las matemáticas modernas y dudar de (o incluso temer a) los resultados del empleo de tales procedimientos.

Esta actitud totalmente natural se ve justificada, por desgracia, por el hecho de que una mayoría de los cientos de libros y de los miles de artículos publicados sobre Investigación de Operaciones, describen los problemas símbolos inaccesibles para el no iniciado en la terminología matemática.

Para ello, la meta de este trabajo es describir en forma sencilla un problema susceptible de ser resuelto con ayuda de la Investigación de Operaciones, o más específicamente, mediante el uso de una de sus técnicas: el método de Monte Carlo (2).

La presentación inicial se hará con un ejemplo totalmente trivial con el fin de fijar ideas y de describir la forma en, que se inicia y continúa el estudio (en este caso, específico) con ayuda de la Investigación de Operaciones. Estas mismas ideas se aplicarán posteriormente a un caso real de determinación de las políticas óptimas de inventario en una empresa manufacturera.

II.—EL CASO DEL VENDEDOR DE PERIODICOS

Un vendedor de periódicos tiene un pequeño puesto en una esquina de determinada ciu-

(2) Las únicas relaciones entre este método y el conocido casino son el nombre y el uso de la probabilidad en ambos, aunque desde luego con muy distintos fines. En la Investigación de Operaciones son frecuentes los nombres exóticos: método "del cruce del arroyo", método "húngaro", etc.



dad. Para desarrollar sus actividades debe comprar diariamente al precio de \$ 0.50 por unidad (x) un cierto número de periódicos que puede vender a su vez al precio de \$ 1.00 por unidad, pero si al final del día se queda con un remanente no vendido, debe revenderlos a \$ 0.20 por unidad, es decir, pierde \$ 0.30 por cada periódico que no vendió.

Por lo que respecta a sus clientes, el vendedor sólo sabe que sus ventas fluctúan entre 0 y 4 unidades diarias (3): hay ocasiones en que nadie le compra, pero cuando vende nunca ha llegado a tener una demanda de 5 o más periódicos. Por otro lado, no ha notado que haya ningún día de la semana en que sus ventas sean sistemáticamente más altas o más bajas de lo que él intuitivamente considera su "promedio". Finalmente considera que su volumen de operaciones ha sido sensiblemente constante en los últimos meses.

Su problema es, con sus propias palabras el siguiente: —"Estoy positivamente exasperado. Hay días que compro 4 periódicos y, o no vendo nada, o vendo cuando mucho uno. Resultado: pérdida. Algo escarmentado, al día siguiente compro solo 2 periódicos y entonces me piden 3 ó 4. Resultado: pérdida, pues aparte de dejar descontentos a unos clientes, dejo de obtener una utilidad que podría haber logrado. Obviamente yo no puedo adivinar lo que puedo vender mañana, ¿qué puedo hacer?"

Desde luego, el vendedor del periódico tiene razón: **no hay nadie que puede adivinar el futuro**, pero a pesar de ello se le puede ayudar a resolver el problema planteado por la naturaleza aleatoria de su demanda.

En primer lugar, hay necesidad de contar con información más abundante sobre dicha demanda ya que las ideas proporcionadas por el vendedor son muy vagas. Para tener mayores datos sobre el fenómeno se le proporciona una tabla similar a la indicada en la figura 1 y se le dan las siguientes instrucciones: —"Va usted

(3) Los precios y cantidades indicados son imaginarios. Su magnitud es de poca importancia, ya que sólo se trata de mostrar la estructura del problema

a observar su negocio durante 100 días. En todos aquellos días en los cuales no vendá ningún periódico, pone usted una rayita vertical en el renglón "Ventas. 0 Periódico. Si vende un periódico la rayita la pondrá en el renglón "Ventas. 1 Periódico", y así sucesivamente para las ventas de 2, 3, 4 y 5 ó más periódicos. Al terminar el período de 100 días volveremos a hablar".

		PERIODICOS
VENTA	0	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5 ó más	

FIGURA 1

Al terminar ese período, el vendedor de periódicos regresa con su tabla llena en la siguiente forma:

		PERIODICOS
VENTA	0	### ##
	1	### ## ## ## ##
	2	### ## ## ## ## ## ## ##
	3	### ## ## ##
	4	###
	5 ó más	

FIGURA 2

Si se presentan los resultados en forma tabular se obtiene:

TABLA I

PERIODICOS VEDIDOS (Demanda)	NO. DE DIAS	%
0	10	10
1	25	25
2	40	40
3	20	20
4	5	5
5 ó más	0	0
TOTAL	100	100 %

Una manera adecuada para analizar la situación es la forma gráfica presentada en la Figura 3.

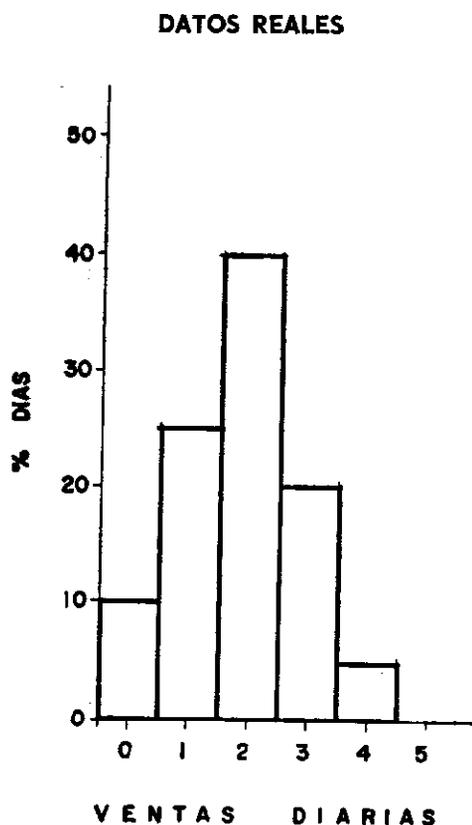


FIGURA 3

Estos datos no resuelven en sí el problema, pues no permiten contestar las preguntas: ¿Cuántos periódicos se venderán mañana? ¿Y en los días sucesivos?

De hecho, estas preguntas no tienen respuesta como se ha dicho anteriormente, pero sí se puede contestar la planteada por el vendedor de periódicos: ¿Qué puedo hacer?

En primer lugar se deben definir políticas de compra. Estas políticas, por otro lado, no deben ser políticas a corto plazo (los resultados de planear compras día a día han sido desastrosos para el vendedor).

Las distintas alternativas disponibles son:

- POLITICA 1: comprar UN periódico por día.
- POLITICA 2: comprar DOS periódicos por día.
- POLITICA 3: comprar TRES periódicos por día.
- POLITICA 4: comprar CUATRO periódicos por día.

Fijando como horizonte de la planeación un período de un mes, por ejemplo, el problema se redefine: Considerado que la demanda futura conserva las características de la demanda pasada, ¿cuál de las cuatro alternativas indicadas conduce a una utilidad mensual lo más grande posible?

La base de la solución radica en la frase "la demanda futura conserva las características de la demanda pasada". Efectivamente, si podemos generar en forma artificial una demanda igual a la representada en la Fig. 3, podríamos comparar los resultados a los que se llegaría al seguir cada una de las cuatro políticas disponibles.

Es aquí donde la técnica de Monte Carlo entra en auxilio del vendedor de periódicos. Mediante ella se puede "simular", mediante una muestra artificial, el comportamiento aleatorio de la demanda en cuestión.

Para ello supongamos que se construye una ruleta perfectamente honesta, dividida en 100 casilleros (en lugar de los 37 normalmente usados).

Por otro lado, separamos los casilleros en 5 grupos, cada uno de los cuales tendrá un número de casilleros proporcional a las demandas de la Tabla I. Así por ejemplo, a la demanda 0 corresponderá el 10% del total de los casilleros, digamos del 1 al 10; a la demanda 1 corresponderán 25 casilleros: del 11 al 35; etc.

Se llega así a la siguiente distribución de los casilleros:



TABLA II

CASILLEROS	DEMANDA Periódicos
1 - 10	0
11 - 35	1
36 - 75	2
76 - 95	3
96 - 100	4

Se puede ahora simular la demanda en esta forma: damos una vuelta a la ruleta y si la bolita cae en el casillero 18, por ejemplo, diremos que la demanda simulada de mañana (día 1) será de 1 periódico. Si en la 2a. vuelta la bolita cae en el casillero 46, este implica que la demanda simulada del día 2 será de 2 periódicos, y así sucesivamente.

Inmediatamente surgen en la mente del vendedor de periódicos dos preguntas:

— ¿Cómo es posible simular **con exactitud** las ventas futuras?

Por otro lado:

— ¿Cuántas veces habrá que darle vuelta a la ruleta?

En realidad estas preguntas son una sola y para contestarla se han hecho tres experimentos:

1. Se dieron 10 vueltas a la ruleta y se anotó la frecuencia con que cae la bolita en cada uno de los grupos de casilleros que corresponden a cada demanda. Los resultados, expresados como porcentajes, se presentan gráficamente en la Figura 4, en la cual se ha superpuesto a los datos experimentales (en trazo discontinuo), los datos originales (en línea continua) de la Figura 3. La diferencia (es decir, el **error**), sea positivo o negativo, corresponde a las zonas achuradas.
2. En el segundo experimento se dieron 100 vueltas a la ruleta, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 5.

10 VUELTAS A LA RULETA

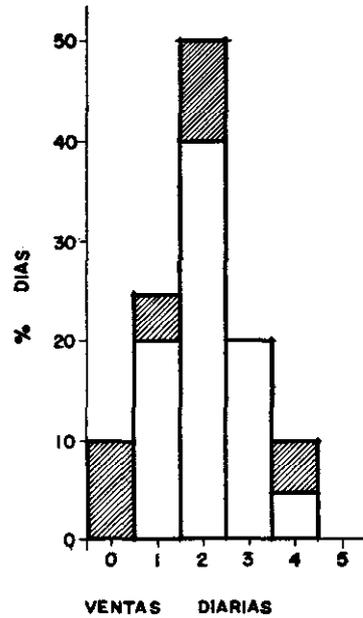


FIGURA 4

100 VUELTAS A LA RULETA

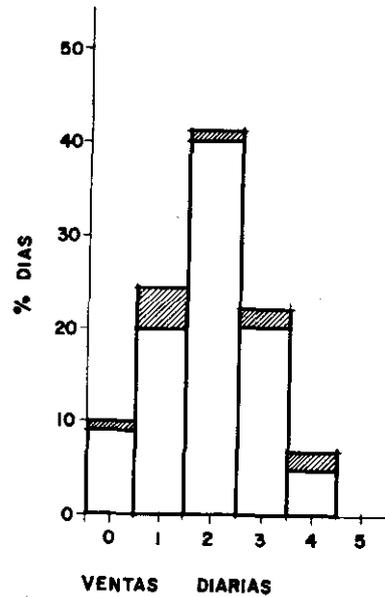


FIGURA 5

3. Finalmente, en el tercer experimento, se dieron 1,000 vueltas a la ruleta (4). La demanda artificial lograda se representa bajo la misma forma que para los dos experimentos anteriores en la Figura 6 (5).

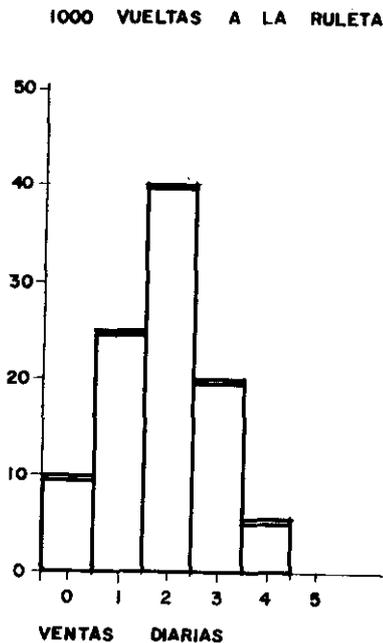


FIGURA 6

La conclusión es evidente: a medida que se aumenta el número de vueltas a la ruleta, la demanda artificial generada se asemeja cada vez más a la demanda real. De hecho, en la Figura 6 se ha logrado disminuir el "error" a una magnitud difícilmente representable con la escala empleada. Con base en esta propiedad se puede calcular también el número de vueltas que le deben dar a la ruleta para reducir el error a una magnitud no mayor que un cierto

- (4) Para estos experimentos no se utilizó realmente una ruleta, sino la Tabla de Números aleatorios (que se comentan más adelante) publicada por "The RAND Corporation".
- (5) Las frecuencias obtenidas son, para cada demanda, respectivamente de 10.1, 25.4, 49.7 y 4.8, respectivamente. Comparar con los valores "reales": 10.0, 25.0, 50.0 y 5.0 respectivamente.

número que se fije. Para el caso en estudio, supóngase que son necesarias 1,000 vueltas a la ruleta.

Satisfecho el vendedor de periódicos con el uso del método de Monte Carlo para simular artificialmente una demanda aleatoria real, pregunta:

— ¿Cómo se pueden comparar entre sí las cuatro políticas de compra por las que pueden optar?

Considérese inicialmente la Política No. 1: comprar un periódico cada día. De acuerdo con los datos del problema la utilidad o pérdida **en efectivo** que resulta con las distintas demandas posibles, es la siguiente:

TABLA III

DEMANDA, Periódicos	UTILIDAD (o pérdida) pesos
0	0.30
1	0.50
2	0.50
3	0.50
4	0.50

Utilizando la técnica de Monte Carlo simularemos la demanda de 1,000 días y, simultáneamente, llevemos la siguiente contabilidad (Tabla IV).

TABLA IV

DÍA	CASILLERO	DEMANDA SIMULADA	UTILIDAD	PERDIDA
1	57	2	0.50	
2	92	3	0.50	
3	6	0		0.30
4	27	1	0.50	
5	32	1	0.50	
6	34	1	0.50	
7	68	2	0.50	
8	5	0		0.30
9	78	3	0.50	
10	34	1	0.50	
11	76	3	0.50	
.
.
.
997	66	2	0.50	
998	61	2	0.50	
999	4	0		0.30
1000	56	2	0.50	
Totales		1,643	\$ 449.50	\$ 30.30

Restando las pérdidas totales (última columna) de las utilidades totales (4a. columna) resulta una utilidad **probable** para la Política 1 de \$ 419.20.

En una forma enteramente similar, se evalúan las Políticas 2, 3 y 4, calculando para cada una de ellas las utilidades o pérdidas.

Se obtienen, finalmente las siguientes cifras:

TABLA V

POLITICA	UTILIDAD pesos
1	419.20
2	635.20
3	536.00
4	254.40

La **política óptima** en este caso es la Política 2, la cual conduce a una **utilidad esperada** máxima de \$ 0.64 por día aproximadamente.

Pero ¿estará obligado el vendedor de periódicos a seguir la Política 2 que se encuentra como la **óptima**?

Obviamente **NO**: el vendedor estará en libertad absoluta de elegir cualquiera de las alternativas que se presentan, pero tendrá la información adicional de que, si en lugar de elegir la solución óptima decide seleccionar las Políticas 1, 3 ó 4, reducirá sus utilidades diarias en \$ 0.22 \$ 0.10 y \$ 0.38, respectivamente.

El vendedor de periódicos cuenta ya con bases objetivas para tomar su decisión, pero aún desea ir más lejos para investigar qué sucede cuando hace entrar en el cuadro el factor: "clientes insatisfechos". En su opinión y de acuerdo con su experiencia, calcula que pierde una venta futura por cada periódico que deja de vender por falta de existencia. Esto implica un costo de \$ 0.50 por cada cliente insatisfecho (6).

(6) Este tipo de factores presenta, en muchos casos, dificultades para su evaluación objetiva. En algunas ocasiones puede fijarse su importancia, mediante un examen de las políticas generales de la empresa. En otros casos se pueden estimar en distintas formas, pero no se insiste en el punto para no dispersar la atención fuera del problema que nos ocupa.

Efectuando los cálculos correspondientes se obtienen las utilidades siguientes:

TABLA VI

POLITICA	UTILIDADES pesos
1	96.70
2	509.70
3	512.70
4	254.40

La política óptima es en este caso la Política 3, aunque con sólo muy ligera ventaja sobre la Política 2. Nótese, por otro lado, la inversión tan radical en las Políticas 1 y 4.

Finalmente y como complemento al problema original, hay los siguientes dos factores adicionales a considerar:

1. ¿Qué sucede si hay una variación periódica en las ventas, es decir, que durante algunos días de la semana las demandas son considerablemente más altas o bajas?

Como podrá intuirse en forma inmediata, el análisis es similar al caso considerado, pero separando demandas para cada día de la semana a fin de determinar la Política óptima para los lunes, para los martes, etc.

2. ¿Y si el volumen de operaciones tiene una tendencia a aumentar o disminuir?

Este caso, cuya solución es más difícil de visualizar rápidamente, puede atacarse mediante una *modificación paulatina* de la ruleta de acuerdo con la tendencia observada. En otras palabras, se introduce un factor de crecimiento o de disminución dentro del proceso de simulación.

III.—COMENTARIOS ADICIONALES SOBRE EL METODO DE MONTE CARLO

La presentación del método de Monte Carlo mediante un ejemplo muy simplificado tiene la ventaja de permitir la presentación de ideas



más o menos complejas en una forma fácilmente accesible; sin embargo, presenta al mismo tiempo el inconveniente de eliminar muchos aspectos de interés teórico y práctico. El objeto de los párrafos siguientes es complementar las ideas básicas presentadas con ciertos detalles indispensables.

1. El ejemplo del vendedor de periódicos puede resolverse en una forma mucho más rápida y directa si se utiliza la noción de "probabilidad" para la demanda. En este caso, es fácil ver que podría llegarse a los mismos resultados si se hiciera un cálculo de la "utilidad esperada" para cada política partiendo de esa noción.

Sin embargo, si el número de políticas aumenta, o si el número de productos y/o servicios es grande, o si las leyes que rigen la(s) demanda(s) son más complicadas, el cálculo directo puede volverse impracticable y en este caso la simulación representa la única solución viable.

2. La construcción y utilización física de una ruleta para simular una situación real tiene serias limitaciones. En la práctica se usan "números aleatorios".

Una tabla de estos números es una secuencia de **gran longitud** de cifras del 0 al 9, cada una de las cuales aparece en la secuencia sin un orden determinado y en tal forma que haya aproximadamente el mismo número de 0, del 1, de 2, . . . , de 9.

La siguiente secuencia es un ejemplo:

37427 83998 32755 26191 89732 35809
60744 10235 60171 40258

Como la serie no es muy larga hay ciertas diferencias en la frecuencia con que aparece cada cifra; así, por ejemplo, el 2 aparece seis veces, mientras que el 4 sólo cuatro veces. Esta limitación disminuye el aumentar la longitud de la secuencia.

Si se toman las cifras de dos a dos, por ejemplo, 37 — 42 — 78 — 39 — . . . , se

tendrá la posibilidad de obtener números aleatorios del 1 al 100 (en este caso 00 = 100) y así sucesivamente.

Puede parecer una cosa infantil generar una lista de números aleatorios, pero cualquiera puede hacer la prueba y comprobar que todos tenemos gustos o aversiones inconscientes por ciertas cifras o por ciertos órdenes y, por consiguiente, se requiere un método mecánico o matemático para producirlos.

3. En el ejemplo presentado se tuvo la necesidad de obtener 1,000 demandas aleatorias. Aún cuando los cálculos aritméticos fueron muy sencillos, el gran número de ellos representa una labor tediosa. En la realidad, los cálculos pueden ser más complicados y más numerosos, por lo que el método de Monte Carlo no pasaría de ser una curiosidad interesante si no se contara con la asombrosa velocidad de los calculadores electrónicos para efectuar tal tipo de cómputos a bajo costo.

Con la ayuda de estas nuevas máquinas se pueden realizar en minutos o en pocas horas simulaciones tales que su cálculo manual requeriría meses o años.

Los calculadores electrónicos pueden generar ellos mismos las secuencias de números aleatorios que se requieran, efectuar con ellos la simulación deseada, realizar los cálculos necesarios e informar sobre los resultados obtenidos.

4. La simulación con el Método de Monte Carlo permite estudiar, modificar, combinar políticas **sin necesidad de actuar directamente sobre la organización administrativa bajo estudio**. El método experimental, que tanto éxito ha tenido al ser aplicado a las ciencias naturales, no es posible utilizarlo (al menos tan frecuentemente) en el caso de organizaciones humanas. En efecto, aparte de consideraciones económicas, en muchas ocasiones existen numerosos factores sociales o psicológicos que impiden modifi-



car las operaciones de un sistema de producción o cuando menos dificultan la realización de una experiencia sistemática. No es práctico, por ejemplo, cambiar 3 ó 4 veces una política de compras o de ventas sólo con el propósito de "ver que sucede".

En estas condiciones, la simulación presenta la interesante posibilidad de hacer cambios en las políticas administrativas en tal forma que se efectúa una verdadera experimentación con la empresa, obteniéndose así una comparación directa entre los resultados a los que podría llegarse si las políticas en cuestión se modificaran en cualquier sentido.

IV.—APLICACION DEL METODO DE MONTE CARLO A UN ESTUDIO DE POLITICAS DE INVENTARIOS

La empresa "A" (7) fabrica varios cientos de productos metálicos distintos que vende a través de las cadenas de distribuidores. El proceso de fabricación es relativamente sencillo aún cuando requiere un gran cuidado en la operación para obtener la calidad especificada. En conjunto, la materia prima sufre una transformación en una máquina adecuada para convertirse en un producto final. Mediante los cambios y ajustes convenientes en una máquina se pueden fabricar muchos tipos de productos distintos, pues en general cada producto no necesita pasar sino por una sola máquina.

Como es natural, la producción de cada artículo se lleva a cabo por lotes ya que la preparación de una máquina para cambiar de un producto a otro implica gastos considerables entre los cuales se incluye: tiempo durante el cual la máquina permanece inactiva, limpieza, cambio de dados y matrices, ajustes para la nueva operación, desperdicio de material para las pri-

(7) Los datos y cifras citados en este estudio son totalmente imaginarios, pero todas las condiciones son similares a las presentadas en un caso real analizado en la Ciudad de México.

meras piezas de prueba, mano de obra para las fases anteriores, etc.

Dado el carácter aleatorio de la demanda se requiere la existencia de un inventario de cada producto a fin de regularizar la entrega de las cantidades pedidas por los clientes.

El monto total de dinero inmovilizado en forma de productos en inventario asciende a más de \$ 10.000,000 y por ello, la empresa A, desea estudiar la política óptima de inventario que haga mínimo los costos totales que implica la existencia de esos inventarios. Como condiciones adicionales se plantean las siguientes:

1. Deben castigarse con severidad las rupturas de inventario.
2. Los resultados deben de expresarse en forma de reglas de uso sencillo para su utilización en la práctica.
3. A pesar de la situación de tipo inflacionario que se desarrolla, no se desea especular con los inventarios de productos.

El estudio se desarrolla en las siguientes etapas:

I — CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS.

Dado el alto número de productos manufacturados (680 en producción regular en el momento de iniciarse el estudio) conviene ante todo llevar a cabo un análisis preliminar que permita conocer la importancia relativa de cada uno de ellos dentro de las actividades de la compañía.

Un primer criterio de evaluación es el monto del inventario de cada artículo. Este criterio está directamente relacionado con el estudio que se desea llevar a cabo, pero está sujeto a graves errores por la fluctuación constante de los inventarios y por el peligro de que muchos artículos puedan tener en un momento dado niveles demasiado altos o demasiado bajos en las bodegas.

Por esta razón se eligió como criterio la



evolución de las ventas de cada producto en el período 1o. de noviembre 1969 — 31 de octubre de 1970.

Con este criterio se ordenaron los productos por orden descendente de ventas. Si se reducen los montos vendidos de cada producto a porcentajes en el mismo orden de clasificación de los productos, se obtienen los resultados expresados en forma gráfica en la Figura 7.

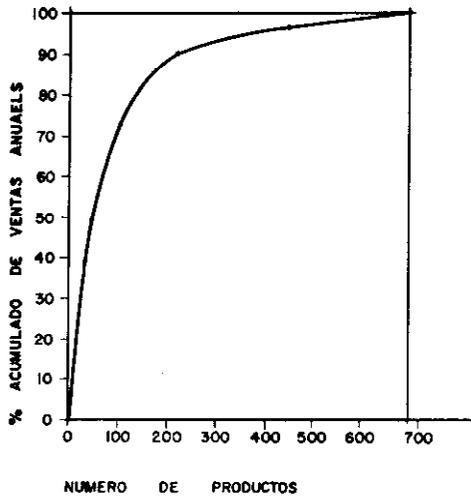


FIGURA 7

Esta curva permite ver en una forma inmediata que una fracción relativamente pequeña de los productos representa la mayor parte de las ventas. Así, 126 productos (18.5%) son los que comprenden el 75% de las ventas totales y 215 productos (31.5%) representan el 90% de dichas ventas.

En otras palabras las repercusiones económicas de una fracción pequeña de los 680 productos son muy importantes, mientras que la mayoría de los productos no afectan en forma sensible a las operaciones de la empresa.

Esto permite separar un grupo de productos que justifiquen un estudio individual de políticas de inventario. El resto de los productos podrá englobarse en un conjunto (más o menos heterogéneo, desde luego) para el cual se definirá una política global de inventario, pero sabiendo de antemano que aún cuando esta

política general sea más o menos defectuosa para ciertos productos, las implicaciones económicas de los errores resultantes serán muy pequeñas.

En el caso en estudio se seleccionaron los 126 productos que representan el 75% de las ventas, con lo cual el problema de análisis se reduce a menos de la quinta parte del problema original.

A su vez, los productos seleccionados pueden separarse en cuatro categorías distintas. (8):

1. Productos con demanda estable, es decir, aquellos para los cuales hay variaciones aleatorias pero sin cambios estacionales marcados ni tampoco tendencias fuertes al aumento o disminución de su demanda. Muchos de los "productos de batalla" caen en esta categoría, que puede también definirse por su demanda promedio sensiblemente constante.
2. Productos con clara demanda estacional.
3. Productos en pleno desarrollo o decadencia cuya demanda tiene una marcada tendencia al aumento o a la disminución.
4. Productos cuya historia es muy corta pero que tienen un desarrollo espectacular en su demanda para decrecer en forma igualmente rápida. Son, en otras palabras, productos "de moda".

Cada categoría debe analizarse con un procedimiento de simulación distinto. Por ser más sencillo el método aplicable a la primera categoría, se ejemplificará con un producto que tiene las características correspondientes a esa categoría, pero antes es necesario definir las políticas a estudiar.

(8) Las categorías que se mencionan no están separadas en una forma nítida, ya que hay productos que pueden tener características mixtas, pero mediante criterios estadísticos adecuados es posible efectuar una diferenciación. A pesar de esto, es muy posible tener productos que queden en las fronteras entre categorías. Estos casos de excepción pueden analizarse en forma individual.



II — DEFINICION DE LAS POLITICAS DE INVENTARIO

Es muy conocido y tiene ventajas muy claras, el llamado "sistema de dos almacenes". Demos una breve explicación del mismo.

Supóngase que se cuenta con dos almacenes distintos que llamamos el "almacen de operación" y el "almacén de seguridad", respectivamente, cada uno de los cuales tiene una capacidad conocida.

El almacén de operación se utiliza para satisfacer la demanda de los clientes mientras haya material en él. Al terminarse la existencia en este almacén se comienza a utilizar el almacén de seguridad y **simultáneamente** se lanza una orden de producción por una cantidad determinada.

Sin embargo, dado que las máquinas pueden estar ocupadas produciendo otros artículos, la orden de producción puede tardar un cierto tiempo antes de hacerse efectiva. Durante este lapso de tiempo (llamado "retardo en la entrega") se continuará utilizando el producto almacenado en el almacén de seguridad.

Al recibirse la producción ordenada se vuelve a llenar, en primer lugar, el almacén de seguridad y el excedente se envía al almacén de operación para volver a comenzar el ciclo.

Puede suceder, sin embargo, que la cantidad producida sea recibida después de haberse agotado el almacén de seguridad. En este caso, se produce una "ruptura de inventario". Para hacer frente a esta ruptura habrá necesidad de detener las entregas a clientes o lanzar una orden de producción prioritaria y urgente. En todo caso, ambas soluciones implican un costo adicional.

En la figura 8 se representa gráficamente el proceso seguido con el método de los dos almacenes. (9) En esta figura S es la cantidad producida en cada orden de producción, s es

(9) Desde luego, la separación en dos almacenes es sólo virtual. Físicamente se podrá tener el producto almacenado en la misma bodega.

el nivel de seguridad, y t es el retraso de entrega.

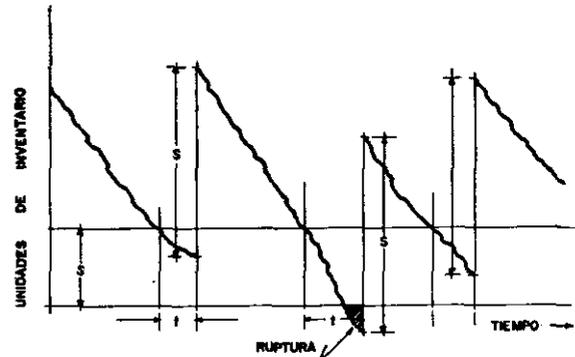


FIGURA 8

Nótese que el retraso de entrega no es siempre el mismo (es aleatorio) y que la demanda es también aleatoria, lo cual se indica por el descenso del inventario siguiendo una línea ondulada.

Con este antecedente, se puede indicar que **una política de inventario se define mediante la elección de los valores de S (magnitud de la orden de producción) y s (nivel de seguridad) sujetos a un cierto nivel de aceptación de rupturas periódicas del inventario.**

En forma directa se puede comprobar intuitivamente que:

1. A medida que más grande es la cantidad a producir en cada lote (S) mayor será el inventario promedio que se mantenga, pero el número de órdenes de producción será menor.
2. Cuando mayor sea el nivel de seguridad (s) mayor será el número promedio de unidades en el inventario, pero será menor la frecuencia con que se presentan RUPTURAS del inventario.

Se está pues, en presencia de condiciones antagónicas que deberán resolverse con un criterio económico: **encontrar la política óptima de inventario que haga mínimo el costo total, es decir, la suma de los costos de mantenimiento del inventario, de preparación de máquinas**

para fabricar un lote y da rupturas del inventario. A esta política corresponden ciertos valores de S y s que deben determinarse.

III — DISCUSION ACERCA DE LOS COSTOS

En el párrafo anterior se citan tres tipos de costos. De ellos, el costo de preparación de máquinas ha sido comentado con anterioridad, quedando sólo por indicar que para el caso en estudio resultó ser de \$ 1,500, imputable a cada orden de producción que se lanza.

El costo de mantenimiento del inventario comprende entre otros, los conceptos:

1. Costo del dinero inmovilizado.
2. Renta o valor del espacio ocupado físicamente en la bodega.
3. Parte proporcional de los gastos generales del almacén (personal, equipo, energía, etc.).
4. Seguros de distintas índoles.
5. Costos por deterioro, depreciación y obsolescencia.

El conjunto de estos costos, que se expresa como pesos por unidad de producto, y por unidad de tiempo, puede estimarse como un porcentaje anual sobre el valor del producto. En el ejemplo analizado, este porcentaje se ha estimado en el 20% anual sobre el valor de cada unidad, que es de \$ 108, a precio de distribuidor (base señalada por la Dirección de la empresa A). Esto implica que mantener una unidad de productos en el almacén cuesta \$ 21.60 al año.

El costo de ruptura del inventario es más difícil de evaluar objetivamente. En el problema un estudio la consecuencia directa de una ruptura del inventario es un retraso en la entrega al cliente que ha solicitado el producto.

Hay, en términos generales, dos formas de plantear este problema:

1. Se fija un nivel de aceptación de rupturas; por ejemplo, se admite una ruptura en cada 10, o en cada 100, o en cada 1,000 pedidos recibidos, o con otro criterio similar, se admite una ruptura cada 3 meses, o cada año, o cada 5 años.
2. No se fija un nivel de ruptura determinado, pero cada vez que hay una ruptura de inventario se castiga con un costo prefijado de antemano, según el criterio de la Dirección.

En el caso actual se aceptó el segundo criterio, fijándose un castigo fuerte para cada ruptura: el retraso en la entrega de una unidad de producto en un día cuesta el 50% del valor de la pieza, es decir, \$ 54 por unidad y por día.

IV — ANALISIS DE LA DEMANDA

La figura 9 presenta la historia de la demanda del producto estudiado.

De ella puede deducirse que dicho producto pertenece claramente a la primera categoría ya que no se aprecian variaciones estacionales y la demanda media es sensiblemente constante.

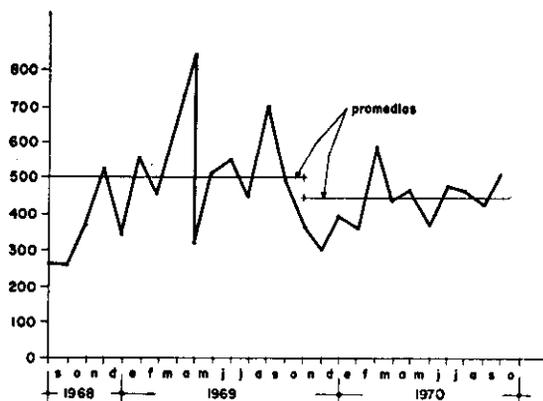


FIGURA 9

Durante el período base (Nov. 1969 — Oct. 1970) la demanda total fue de 5,274 unidades, o sea, un promedio diario de 17.6 unidades sobre la base de 300 días de trabajo por año.



Un estudio estadístico sobre las ventas diarias mostró que obedecen con bastante aproximación a una distribución normal (la conocida "curva en campana") con una desviación estándar de 3.2 unidades.

Esto significa que la demanda diaria puede representarse mediante la expresión:

$$d = 17.6 + 3.2 \&$$

En esta expresión $\&$ representa variaciones aleatorias de la ley de distribución normal (10).

V — RETRASO EN LA ENTREGA

En el caso actual, "retraso en la entrega" representa el tiempo que debe esperar una orden de producción antes de la máquina a la cual se destina esté lista para iniciar la producción. En efecto, en algunos casos, la máquina puede estar disponible para fabricar el producto ordenado por haber terminado su trabajo de un lote de otro producto, pero en general habrá necesidad de esperar un cierto período de tiempo antes de poder hacer efectiva la orden de producción.

En la empresa A no se ha obtenido una estadística de estos tiempos de espera de las órdenes de producción. Sin embargo, se sabe que el tiempo máximo normal es de 6 días.

Tanto por esta falta de información como por tener un pequeño margen de seguridad, se tomó la decisión de suponer que **todas** las órdenes de producción esperan 6 días antes de hacerse efectivas. Por otro lado, dada la gran velocidad de las máquinas se consideró razonable la suposición de que al iniciarse la fabricación de un lote de producto, éste queda a la disposición del almacén en una forma inmediata.

(10) Las tablas de The RAND Corporation incluyen listados de este tipo de desviaciones aleatorias cuyo manejo es similar al de los números aleatorios comentados con anterioridad.

VI — TAMAÑO DEL LOTE MAS ECONOMICO

Se ha indicado ya que cada orden de producción implica la fabricación de un lote de magnitud S , pero nada se ha dicho aún sobre el número de unidades que deben integrar cada lote. Sólo sabemos que si este lote es demasiado grande se incurrirá en un alto costo de mantenimiento del inventario y si es demasiado pequeño habrá gastos de preparación de máquinas excesivamente elevados, debido al gran número de veces que habrá que efectuar las operaciones de cambio de producción. Debe existir, por consiguiente, un tamaño de lote tal que la suma del costo de mantenimiento del inventario y del costo de preparación sea mínimo: este es el llamado "lote más económico".

La siguiente fórmula permite calcular el tamaño del lote más económico para una demanda **constante**:

$$S_o = \sqrt{2 \frac{N C_e}{\Theta C_s}}$$

en donde:

S_o = número de unidades en el lote más económico

N = número de piezas a fabricar en el período Θ

C_e = costo de preparación, pesos.

C_s = costo de mantenimiento del inventario, pesos por pieza y por unidad de tiempo.

Sobre la base de un año (300 días) y con los valores dados anteriormente, se calcula:

$$N = 5,274 \text{ unidades por año}$$

$$\Theta = 1 \text{ año}$$

$$C_e = \$ 1,500.$$

$$C_s = \$ 21.60 \text{ por unidad por año.}$$

Con estos valores se obtiene:

$$S_0 = 856 \text{ unidades.}$$

Esta cantidad que equivale aproximadamente a la demanda media de dos meses, correspondería al lote más económico si la demanda fuera constante, pero como esta condición no se cumple en el caso presente, debe tomarse sólo como un valor estimativo de dicho lote más económico. Más adelante se indicará la forma en que se puede fijar con mayor exactitud el valor de este importante factor, pero por el momento supongamos que 856 es el valor correcto.

VII — CALCULO DEL NIVEL DE SEGURIDAD OPTIMO

Todas las ideas anteriores han correspondido al planteamiento del problema y a la obtención de datos. Se llega ahora al punto crucial del estudio: el empleo del método de Monte Carlo para comparar entre sí a las distintas políticas de inventario.

Sobre la base (provisional) de que el lote más económico a producir es de 856 unidades, las políticas de inventario pueden definirse en función de un solo factor: el número de unidades que constituye el nivel del almacén de seguridad.

Así, podremos definir:

POLITICA 0: NIVEL DE SEGURIDAD DE 0 UNIDADES.

POLITICA 1: NIVEL DE SEGURIDAD DE 50 UNIDADES.

POLITICA 2: NIVEL DE SEGURIDAD DE 100 UNIDADES.

POLITICA 3: NIVEL DE SEGURIDAD DE 200 UNIDADES.

POLITICA 4: NIVEL DE SEGURIDAD DE 400 UNIDADES.

Se deberá ahora evaluar por simulación el

costo total correspondiente a cada una de estas políticas y elegir como la más adecuada aquella cuyo costo total sea mínimo.

Este costo será la suma de los costos de mantenimiento del inventario y de ruptura del mismo (en caso de que esto suceda) (11). De antemano podemos ver que el primero de estos costos será más alto para la política 4 que para las demás, mientras que el segundo será seguramente máximo para la política 0.

Para iniciar la simulación fijemos en forma arbitraria el número de unidades inicialmente existentes en el almacén (digamos 401) y fijemos también el número de días que van a ser simulados, por ejemplo, 300 días (1 año).

Ahora, para ejemplificar, consideraremos la política 1, o sea aquella para la cual el nivel de seguridad es de 50 unidades.

Construyamos la tabla VII cuya explicación se facilita mediante el desarrollo del proceso de llenarla (Ver pág. 35).

El día 0 (día anterior al comienzo de la simulación) el inventario es, como se ha dicho, de 401 unidades.

La demanda simulada del día 1 se obtiene con ayuda de las desviaciones aleatorias $\&$. La primera de éstas leída en la tabla es -0.201 . Luego, la demanda correspondiente es de $17.6 - (3.2 \times 0.201) = 16.96$, que se redondea a 17 unidades. Por consiguiente, el inventario al final del día será de $401 - 17 = 384$ unidades.

En forma similar se prosigue para los días 2, 3, 4, etc. Al llegar al día 20 el inventario final es de 55 unidades, que disminuyen a 40 con la demanda del día 21. Es decir, este día 21 se rompe el nivel de seguridad de 50 unidades, por lo cual es necesario lanzar una orden de producción por 856 unidades que estarán disponibles el día 27.

Mientras tanto, prosigue descendiendo el contenido de almacén de seguridad hasta el día

(11) El costo de preparación no interviene pues hemos supuesto que el lote a producir (856 unidades) es el mismo para todas las políticas.



23 en que sólo hay 7 unidades que son insuficientes para hacer frente a la demanda de 16 unidades del día 24: es decir, se produce ruptura de inventario por 9 unidades. Esta ruptura aumenta a 26 y 47 unidades en los días 25 y 26. Esto implica una ruptura total de 82 unidades-día.

El día 27 se reciben las 856 unidades ordenadas con lo cual la ruptura no alcanza mayores proporciones. Al finalizar este día 27 el inventario final será $856 - 47$ (ruptura) $- 15$ (demanda) $= 794$.

El proceso se continúa hasta el día 300.

En la parte inferior de la Tabla VII se encuentran los totales de la demanda, de los inventarios finales, de las rupturas y el número de órdenes de producción lanzadas.

TABLA VII

DIA	DEMANDA	INVENTARIO FINAL	RUPTURA	ORDEN DE PRODUCCION
0		401		
1	17	384		
2	18	366		
3	19	331		
4	14	317		
...		
20	20	55		1
21	15	40		
22	18	22		
23	15	7		
24	16		9	
25	17		26	
26	21		47	
27	15	794		
...		
297	24	538		
298	14	524		
299	17	507		
300	13	494		
	5,204	113,827	315	6

El total de la demanda sirve como guía para conocer la exactitud de la simulación. El valor real es de 5,274 mientras que el valor simulado es de 5,204. La pequeña diferencia observada, 70, (1.3%) indica que las desviaciones aleatorias utilizadas han trabajado bien.

Los totales de inventario y rupturas servirán para calcular los costos de mantenimiento del inventario y de ruptura ya que:

Costo de mantenimiento =

(No. de unidades de inventario) x
(Costo unitario de mantenimiento)

Costo de ruptura =

(No. de unidades en las rupturas) x
(Costo unitario de ruptura)

La suma de estos dos costos, es el "costo total" para la política considerada.

Con el solo cambio del nivel de seguridad, todas las políticas se analizan en esta forma. Los resultados aparecen en la Tabla VIII y en la Figura 10.

TABLA VIII

POLITICA	UNIDADES INVENTARIO	UNIDADES RUPTURA	COSTO MANTENIMIENTO	RUPTURA	COSTO TOTAL
0	100,201	1,390	\$ 7,214	\$ 75,060	\$ 82,274
1	113,827	515	8,196	27,810	36,006
2	132,228	0	9,520	0	9,520
3	180,392	0	11,548	0	11,548
4	221,188	0	15,924	0	15,924

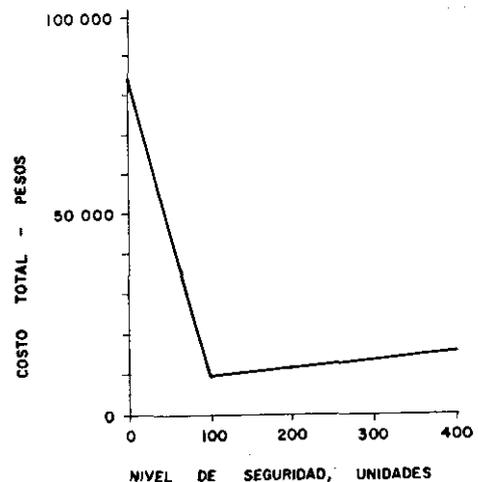


FIGURA 10

De aquí se concluye que el nivel de seguridad óptima es de 100 unidades.

VIII — RECONSIDERACION DEL LOTE A PRODUCIR

Las determinaciones anteriores se basaron en un lote de 856 unidades. Se indicó, sin embargo, que la magnitud de este lote es sólo aproximada. Para afinar esta cifra es necesario repetir la simulación, manteniendo constante el nivel de seguridad en su valor óptimo de 100 unidades y haciendo variar el lote a producir.

Se definen entonces las políticas:

POLITICA A: Lote a producir de 600 unidades

POLITICA B: Lote a producir de 856 unidades (12)

POLITICA C: Lote a producir 1,100 unidades.

POLITICA D: Lote a producir de 1,500 unidades.

POLITICA E: Lote a producir de 2,000 unidades.

El costo total será, para cada política, la suma de los costos de mantenimiento del inventario, de ruptura del mismo y de la preparación de máquinas. Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla IX y en la Figura 11.

TABLA IX

POLITICA	COSTO MANTENIMIENTO	COSTO RUPTURA	COSTO PREPARACION	COSTO TOTAL
A	\$ 6741	\$ 0	\$ 12 000	\$ 18 741
B	9 820	0	9 000	18 820
C	11 988	0	7 500	19 488
D	16 004	0	8 000	22 004
E	22 368	0	4 500	26 868

De la Figura 11 se deduce que el número óptimo de unidades a producir en cada lote es de 800. Esta cifra es muy cercana a la considerada.

(12) Esta política ha sido ya previamente analizada.

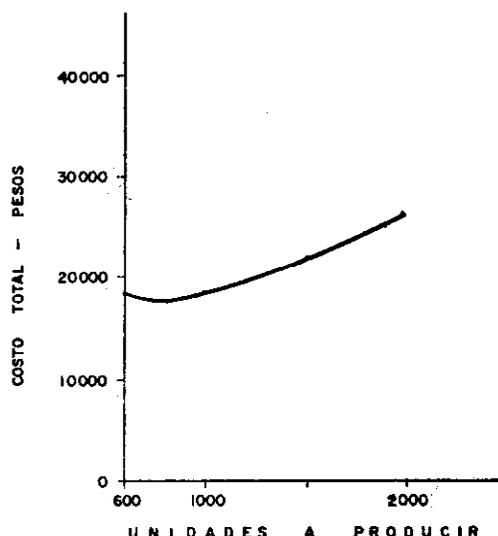


FIGURA 11

En teoría, podría volverse a recalcular el nivel de seguridad óptimo, pero es fácil ver que las correcciones son tan pequeñas que no vale la pena.

Una segunda deducción interesante es la influencia relativamente pequeña que tienen las desviaciones en el número de unidades a producir sobre el costo total, según se ve en la Figura 11. Este hecho puede tener mucha importancia si las máquinas se encuentran sobrecargadas, pues en ese caso se podrían producir lotes sensiblemente mayores con lo cual se reducirá el tiempo total requerido para preparar las máquinas sin que haya un reflejo sensible en el costo total.

IX — APLICACION DE LOS RESULTADOS

¿Los resultados obtenidos pueden aplicarse con facilidad en la práctica, según lo desea la Dirección de la empresa A?

Sin lugar a duda, sí. Nótese que al conocer el nivel de seguridad de cada producto puede saberse con mucha facilidad, por comparación con el inventario existente en almacén, el momento en que debe lanzarse una orden de producción y recuérdese también que se conoce la

magnitud de esta orden. Para una empresa con un mínimo de mecanización en el procesamiento de información este problema es muy sencillo de resolver, incluso para inventarios constituidos por muchos miles de artículos distintos.

El caso de productos con demanda estacionaria o con tendencia futura es un poco más complicado para manejar, pero sin salir de la condición impuesta de aplicarse con un método sencillo.

¿Quiere decir esto que con un sistema mecanizado de este tipo se eliminan las decisiones sobre las políticas de inventario?

La respuesta es un NO rotundo:

1. En primer lugar hay numerosas condiciones que deben estar sujetas a una decisión: políticas de entrega a los clientes, coordinación entre producción y venta, análisis de productos de demanda anormal, detección y control de excepciones, etc.

2. En segundo término, se requiere una investigación periódica para conocer los resultados obtenidos con tal sistema: será indispensable decidir cuando es conveniente hacer una revisión total o parcial de las políticas seguidas.
3. Las actividades administrativas de planeación, integración ejecución y control, aplicadas al control de inventarios, quedan intactas.

De hecho, sólo se ha dado al ejecutivo más tiempo para desarrollar más íntegramente esas actividades, **sólo se le han dado reglas de acción para tomar mejores decisiones.**

Para terminar, conviene indicar que el problema no termina aquí entre otras cosas resulta indispensable consolidar el estudio de inventarios con los análisis de mercado y con la programación de producción. Ambas situaciones pueden beneficiarse con otras técnicas de la Investigación de Operaciones, pero "estos relatos deberán quedarse para la próxima noche".

BIBLIOTECA
E.S.C.A.

