

LA SIMULACIÓN COMO EL MÉTODO MÁS EFICAZ PARA ELABORAR UN MODELO DE APROVISIONAMIENTO INTERACTIVO

BERNAL GARCIA, JUAN JESÚS

Dpto. de Métodos Cuantitativos para la Economía
Escuela Universitaria de Estudios Empresariales de Cartagena
Universidad de Murcia

RESUMEN:

Para una correcta toma de decisiones es preciso convertir la información anárquica en información útil. Para ello –con frecuencia– se suele recurrir a la metodología de los Modelos, pero cuando se ven involucrados procesos con variables sujetas a cambios aleatorios, la simulación se convierte en el único método práctico de análisis; mediante ella es posible contrastar escenarios alternativos y considerar gran cantidad de variables de forma simultánea, así como estudiar la evolución temporal en tan sólo unos pocos segundos; todo ello permite optimizarlos y/o predecir su comportamiento futuro. Para su realización disponemos de las potentes Hojas de Cálculo actuales, pero es preciso seguir una metodología eficiente en los resultados y en su adecuada validación.

Presentamos un “Modelo de Aprovisionamiento”, donde a partir de datos históricos de las variables aleatorias: demanda y plazo de entrega de un producto, se predice lo que puede ocurrir en un periodo de tiempo dado, para así gestionar adecuadamente el stock, es decir, determinar cuándo y en qué cantidad efectuar los pedidos para que la suma de los costes involucrados sea mínima y sin pérdida de calidad en el servicio. Deberá proporcionar suficiente información, ser muy versátil mediante la inclusión de parámetros que permitan interactuar sobre aspectos que ayuden a analizar las distintas opciones de que se dispone para poder elegir la opción más adecuada. Debe aprovechar al máximo los recursos de las H.C., pero sin merma de claridad, ya que ha de ser expuesto en operativa y formulación, de forma que sirva de referente para la elaboración de otros modelos de simulación.

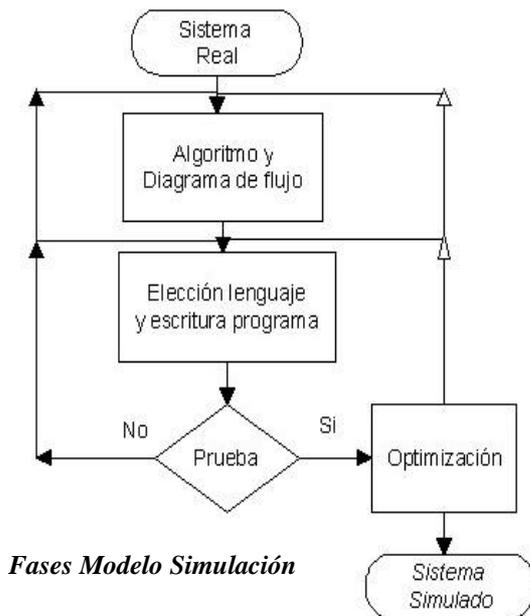
Palabras clave: *Modelos de Simulación, hojas de cálculo, aprovisionamiento, stock.*

INTRODUCCIÓN:

Para la elaboración de los citados modelos de simulación, hace unos años se requería el uso de grandes computadoras, así como del conocimiento de lenguajes de programación sofisticados; afortunadamente, disponemos en la actualidad de las últimas versiones de las Hojas de Cálculo (H.C.), dotadas de gran sencillez de uso y versatilidad a la vez, que de una elevada precisión, fiabilidad y velocidad de cálculo, todo ello a un coste de adquisición bastante asequible, disponiendo de funciones y métodos estadísticos avanzados; gracias a ellas podremos responder a la pregunta: “¿*Qué pasaría sí...?*”.

Es posible, bien recurrir a los modelos ya desarrollados y probados, u optar por una elaboración propia; nosotros aconsejamos esta última, pero advirtiendo que conviene partir de modelos informatizados no excesivamente complejos, e ir ampliándolos progresivamente según van siendo validados modularmente. La opción de desarrollo a medida, nos va a permitir las siguientes ventajas:

- Mejor aplicabilidad a la situación real concreta.
- Un costo más proporcionado.
- Mayor Simplicidad y claridad.
- Mayor interactividad.



No obstante hay que seguir una metodología adecuada, planificando los informes, estudios de sensibilidad, pruebas de validación adecuadas, etc. Con el fin de estructurar su elaboración, podemos considerar las siguientes fases – muy generales-, según el organigrama adjunto.

Para mostrar la citada metodología se ha escogido un “clásico” en simulación, pero no por ello menos interesante, el “*Modelo de Reaprovisionamiento*”, donde en función de unos datos históricos de las variables aleatorias demanda y tiempo de reaprovisionamiento de un producto, se pueda predecir, mediante dicha simulación, lo que va a ocurrir en un periodo de tiempo dado, con el fin de gestionar adecuadamente el stock de la empresa, es

decir, determinar cuándo y en qué cantidad hemos de efectuar los pedidos de nuestro almacén, haciéndolo de manera que la suma de los costes involucrados en el proceso sea mínimo, al tiempo que el servicio a los clientes siga siendo el adecuado. Dicho modelo deberá proporcionarnos suficiente información sobre la demanda, el inventario, las pérdidas por falta de existencia, stock medio, etc.

Requisitos previos del modelo con hoja de cálculo:

El modelo realizado con H.C. debe de estar dotado de gran **versatilidad** mediante la inclusión de diversos parámetros que permitan interactuar sobre todos los aspectos del mismo que ayuden a analizar todas las opciones posibles que dispone el empresario para poder decidirse por aquella que mejor se adecue a las necesidades de la empresa en cuestión; todo ello además realizado de forma **sencilla** y **clara**, ya que el mismo debe ser expuesto en estas páginas, en su operativa, formulación y utilización de los recursos normales de toda las H.C. (a base de tablas que contengan funciones y sin necesidad de recurrir a complejas rutinas de programación), de forma que sirva de referente para la elaboración y aplicación de este tipo de modelos de simulación por parte de cualquier PYME.

MODELO DE REAPROVISIONAMIENTO POR SIMULACIÓN:

Planteamiento del Problema:

El problema se plantea en el sentido que la empresa necesita almacenar una serie de productos (desde materias primas hasta productos elaborados, pasando por material diverso de oficina, etc.), durante un periodo de tiempo –más o menos largo- con el fin de disponer de ellos para satisfacer unas necesidades en el momento que se producen; pero lo anterior obligaría a almacenar una gran cantidad de existencias, lo que supondría tener un capital importante inmovilizado, además de que los costes de almacenamiento serán proporcionales al volumen del almacén requerido.

Así pues, se produce la disyuntiva de disponer de un stock suficientemente amplio para poder disponer de existencias de forma inmediata –para nuestras propias necesidades o para servir a nuestros clientes-, aumentando con ello el “coste de posesión y mantenimiento”, o de optar por un almacenamiento menor, aún a costa de penalizaciones –en tiempo y en coste- por no disponer de esos productos en el momento en el que se necesiten; como veremos

más adelante, la solución intermedia que minimice la suma de ambos costes será la opción a seguir. Resumiremos el objetivo perseguido como la adecuada contestación a los siguientes interrogantes típicos de este modelo:

1. ¿Cuál debe ser el stock mínimo que provoque un nuevo pedido ? (esta cantidad se conoce como “*Punto de pedido*”).
2. ¿Cuántas unidades deberemos pedir en cada nuevo pedido ?.

Preguntas a la que nosotros añadiremos la siguiente:

3. ¿Qué acciones podemos emprender para optimizar los resultados obtenidos ?.

Evidentemente el modelo que vamos a realizar deberá responder adecuadamente a las tres cuestiones planteadas; para ello analizaremos los diversos costes que intervienen en el proceso, eligiendo aquellos valores para los distintos parámetros introducidos, que hagan mínima la suma de dichos costes.

El problema reside en que el modelo depende de unas variables aleatorias y, por tanto, impredecibles en principio, como son, en primer lugar, la *demanda de productos* por parte de los clientes, dependiendo de la cuál será preciso reponer existencias con mayor o menor frecuencia y en cantidad diferente, y en segundo, el tiempo que tarda en llegarnos el pedido de aprovisionamiento; en este punto es donde entra la simulación, gracias a la cuál, y basados en los datos históricos de dichas variables: *demanda* y *tiempo de espera*, podemos “simular o semejar” dicha aleatoriedad de forma “análoga” a como lo haría en la realidad. Veamos el procedimiento:

Descripción del modelo:

Tal y como ya hemos dicho, se trata de decidir qué cantidad de pedido y cuándo debemos realizarlo para que los costes –a lo largo de un periodo considerado- sean mínimos; para ello comencemos por describir qué costes hay que tener en consideración:

Costes a considerar:

- 1) Costes de la adquisición de los productos.
- 2) Costes derivados de los pedidos y la realización de los mismos (material de papelería, telefonía, personal, etc.)
- 3) Costes de mantenimiento del material en el almacén (alquileres, seguros, deterioros, envejecimientos, capital inmovilizado, personal encargado, etc.)
- 4) Costes de falta de existencias (pérdida de ventas por retrasos en el reaprovisionamiento).

Además de fijarnos el objetivo de un coste total mínimo, deberemos proporcionar toda la información complementaria posible sobre el proceso, de manera que el empresario pueda evaluar el coste, y la conveniencia de realizar otras acciones encaminadas a la mejora de los resultados obtenidos. Para construir el modelo informático, debemos tener en consideración los supuestos previos siguientes:

Datos previos:

- Supondremos que la demanda será diaria y de forma aleatoria, según una distribución de frecuencias (o probabilidades) obtenida a partir de los datos de la demanda real tomada durante un periodo de tiempo anterior suficientemente amplio.

- El tiempo en que se tarda en recibir un pedido puede variar de forma aleatoria con igual probabilidad entre un número mínimo y máximo de días; siguiendo por tanto una ley de *distribución uniforme*. Se debe aclarar, así mismo, que la incorporación de las nuevas existencias no es operativa hasta al día siguiente de su recepción.
- Valor del punto de pedido elegido inicialmente para realizar la simulación.
- Valor de todos los costes anteriormente referenciados.
- Se suponen conocidas las cantidades iniciales siguientes: Inventario inicial –al comenzar la simulación - y si se está a la espera de recibir algún pedido en dicho momento, y en ese caso, de cuantas uds. se trata.

Supuestos previos:

- Para determinar la cantidad a pedir en cada reabastecimiento, tomaremos la suma de los productos demandados desde el último pedido realizado; no obstante, para dotar al modelo de mayor interactividad, introduciremos la posibilidad de aplicar un porcentaje a dicha suma; se entenderá que un porcentaje superior al 100% como un sobrepedido.
- Debemos conocer el grado de “penuria” que ocasionaría la falta de existencias en el inventario, es decir, si los clientes renuncian a efectuar la compra si no se les sirve en el día, o si por el contrario, esa pérdida es proporcional al tiempo de demora en servirlos. Consideraremos aquí la posibilidad de variar el número de días que los clientes están dispuestos a esperar, antes de renunciar definitivamente a comprar nuestro producto.
- Periodo en el cuál se va a realizar la simulación; realizaremos en este modelo una “tirada” diaria para todo un año (unos 220 días hábiles).

Descripción del proceso:

A partir de los datos anteriores, se realiza la simulación “día a día” donde, tras obtener una demanda aleatoria y sumarle los pedidos “recuperados” del día anterior, se calcula el inventario resultante; caso de que éste alcance un nivel igual o menor que el punto de pedido elegido, efectuar dicho pedido aplicando el porcentaje dado a la suma de los artículos demandados desde la última vez que se realizó, y esperar los días correspondientes, según la tirada aleatoria uniforme para incorporarlos; si no hay suficiente stock para servir a la demanda total del día, se debe comprobar el nº de días que faltan para recibir un nuevo pedido, si éstos superan a la “capacidad máxima de espera” prefijada del cliente, se contarán como uds. perdidas, en caso contrario, pueden ser recuperadas en días posteriores, siempre y cuando el número de uds. pendientes de recibir sean suficientes para cubrir dicha demanda.

El modelo deberá realizar los cálculos intermedios pertinentes, que nos permitan obtener la información siguiente:

- ◆ Suma de la demanda aleatoria y la total.
- ◆ Valores medios de la demanda.
- ◆ Inventario total e inventario medio.
- ◆ Días de espera media del pedido.
- ◆ Nº de pedidos realizados y valor del pedido medio.
- ◆ Unidades totales que no se pudieron atender. Porcentaje sobre el total.
- ◆ Unidades que se pudieron recuperar. Porcentaje sobre el total.
- ◆ Valor medio de la falta de existencias.
- ◆ Nº de días en que faltaron existencias. y días con el inventario en cero.

NOTA: Se adjunta el organigrama del proceso que hemos elaborado, donde se describen los pasos a seguir, así como la formulación de las principales variables involucradas en el mismo.

Si denominamos:

Np : N° total de uds. pedidas

Pcu : Precio compra unitario.

Im : Inventario medio

Nn : N° de uds. no vendidas.

Es posible calcular los costes citados, según las –simples– fórmulas siguientes:

$$Cc = Np * Pcu$$

$$Cpr = Np * Cpr$$

$$Cm = Im * Cim$$

$$Cn = Nn * Pcu$$

donde las variables se corresponden con:

Cc : Coste compra

Cpr : Coste pedido y recepción

Cpr = Coste de pedido y recepción

Cm = Coste mantenimiento

Cim = Coste inventario medio

Cn = Coste de Ud. no vendida (o falta)

Siendo entonces el *Coste total* la suma de los cuatro anteriores:

$$CT = Cc + Cpr + Cm + Cn$$

Advertimos, que al tratarse de “tiradas” o iteraciones aleatorias, los resultados pueden diferir sensiblemente de una a otra tirada, sobre todo si, como ocurrirá en el supuesto práctico siguiente, la distribución de probabilidad de la demanda tiene bastante dispersión (alta desviación típica), por ello es aconsejable realizar diversas “tiradas” o repetición de la simulación, tomar nota de los resultados obtenidos para cada una de ellas y calcular la media de los mismos; de esta forma se pondera mejor la aleatoriedad y podremos establecer las conclusiones y predicciones con mayor garantía de éxito.

Pruebas a realizar al modelo:

Aunque la ventaja de las H.C. es que se “recalculan” con sólo variar algún valor de las variables de partida, si además introducimos modificaciones en los parámetros que hemos introducido, podremos tener más control sobre el modelo, consiguiendo la interactividad perseguida; mediante esta técnica, realizaremos los siguientes estudios adicionales:

- Evolución del Coste Total y del % de uds. no vendidas con el valor del punto de pedido.
- Evolución del Coste Total y del % de uds. no vendidas función del % de la suma de los pedidos anteriores.
- Evolución del Coste Total y del % de uds. recuperadas función del n° de días medios de espera del pedido.
- Evolución del Coste Total y del % de uds. recuperadas con el valor del n° de días de “fidelidad” del cliente.

Todo ello nos servirá para evaluar si el modelo funciona adecuadamente, lo que implica que los resultados obtenidos sean coherentes; además de proporcionarnos suficiente información adicional, para poder optar por aquella opción que más ventajas nos reporte; así como “animar” al decisor a realizar políticas comerciales y/o financieras conducentes, por ejemplo a:

- Mejorar la capacidad de nuestro almacén
- Disminuir los días de espera mediante un transporte más eficaz de los productos pedidos.
- Incentivar la espera de nuestros clientes.
- Etc., etc.

SUPUESTO PRÁCTICO:

Presentación del caso:

Se trata de una empresa mayorista de periféricos informáticos, que sirve sus productos a los vendedores de su zona de influencia (provincial), siendo las impresoras de inyección de color su artículo más demandado. El importante crecimiento en las ventas de este tipo de artículo, debido a la creciente calidad de impresión a un precio cada vez menor, ha provocado –con preocupante frecuencia- que dicha empresa no dispusiese de existencias para proveer a sus clientes minoristas, por otro lado, siempre que el tiempo de espera que este debe “sufrir”, supera la media al mismo pedido realizado al mayorista nacional, ello puede acarrear la pérdida de dicha venta.

DATOS DEMANDA	
Nº día	Nº artículos demandados
1	20
2	15
3	25
4	10
5	15
6	5
7	0
8	15
9	20
10	10
11	25
12	15
.....	
216	15
217	5
218	30
219	15
220	25
Nº Datos:	220
Máximo:	40
Mínimo:	0
Oscilación:	40
Media:	19,0
Destip:	7,4
Mediana:	20,0
Moda:	15,0
Intervalos:	10
Incremento:	4
Figura 1	

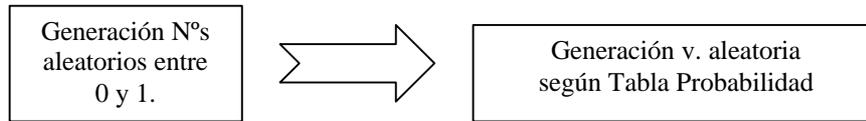
Por todo lo anterior, esta empresa distribuidora, desea analizar –con detalle- cuándo y cuántas impresoras debe pedir a su vez al mayorista nacional, para que el coste total sea mínimo, al tiempo que mejore el servicio a sus clientes y las pérdidas de ventas por carencias de material sean las menos posibles.

Datos de partida:

Como hemos dicho anteriormente, para poder efectuar una simulación necesitamos disponer de una tabla de frecuencias con la posible demanda; pues bien, la empresa objeto de nuestro estudio ha tomado debida nota durante todo el año anterior de la demanda diaria de este tipo de producto; en la *Figura 1*, se muestra (de forma “recortada” por ahorro de espacio) dicha demanda histórica, así como algunos estadísticos de los mismos, donde puede apreciarse que hay una gran oscilación (desde 0 a 40 uds., con desviación típica: 7,4), con una media de 19 impresoras, siendo 15 el número más repetido.

Para efectuar el “conteo de frecuencias”, hemos tomado 10 intervalos, lo que implica un radio de 4 para cada uno de ellos; si ahora escogemos el valor mínimo para el primero, calculando los siguientes sumándole dicho radio, hasta el último que ha de coincidir con el máximo. Mediante la función FRECUENCIA (de Excel) se calculan las frecuencias absolutas de la columna 2 de la tabla de al *Figura 2*.; dividiendo los valores anteriores entre su suma, se determina la frecuencia relativa, y a partir de ésta se obtiene la acumulada. En la misma figura puede apreciarse de forma gráfica esta distribución de frecuencias de la demanda.

Resulta evidente que la citada distribución no sigue ninguna ley de probabilidad conocida, por lo cuál será preciso utilizarla en forma tabular. Para obtener valores aleatorios según dicha tabla de frecuencias, deberemos seguir el siguiente esquema:



Para lo cuál generaremos un número aleatorio entre 0 y 1 (con la función =ALEATORIO), y buscaremos dicho n° en la columna de las frecuencias acumuladas, y determinaremos el valor correspondiente en la demanda; éste valor puede ser, bien el valor intermedio del intervalo, o, caso de radios amplios y necesitar una mayor precisión, podemos realizar una interpolación lineal.

Aunque en el supuesto práctico presente, la diferencia de un método u otro sería muy pequeña, hemos formulado la citada interpolación, y cuyo calculo hemos desglosado en la *Figura 2*; así, en el ejemplo mostrado, puede observarse como para un n° aleatorio igual a 0.1565, le correspondería el intervalo (8-12), cuyo punto intermedio sería 10, y el valor interpolado –más exacto- es 11. Para comprobar la “bondad” de la simulación realizada, se elaboró una tabla con “100 tiradas”, valores que llevados al gráfico anterior, nos demuestran la gran similitud entre ambos “perfiles” (*Figura 2*), que dan fe de la calidad de la misma.

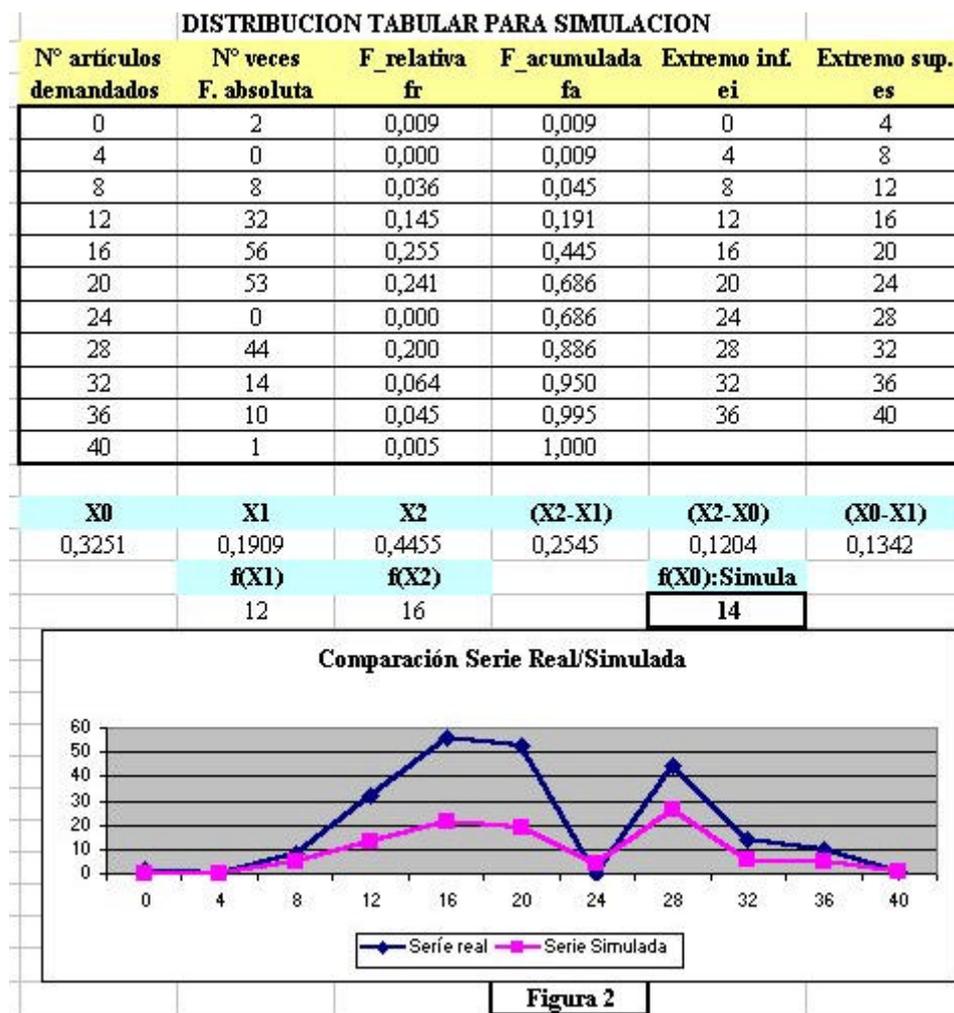


Figura 2

En la *Figura 3* se encuentran detallados los datos de partida necesarios para realizar el modelo de simulación con hoja de cálculo que hemos elaborado al efecto. Partimos de un inventario inicial de 50 uds., y suponemos que ya se ha efectuado un pedido por otras 25 en el momento anterior a realizar la citada simulación.

Comenzaremos utilizando un punto de pedido de 20 uds. (la media de los pedidos del histórico), es decir, cada vez que el inventario sea igual o inferior a esta cantidad efectuaremos un nuevo pedido a nuestro distribuidor habitual, que tardara según la distribución uniforme de media 2 días (entre un mínimo de 1 y un máximo de 3), aunque realmente hasta el día siguiente de su recepción no lo tendremos operativo para la venta. El número de días que el cliente está dispuesto a esperar en el caso de no disponer de stock suficiente es de uno sólo (ya que si son más, le puede interesar efectuar el pedido directamente al citado al distribuidor nacional).

Cada vez que efectuemos un pedido, lo haremos por la cantidad suma de la demanda de todos los días desde la última vez que lo hicimos, ponderada por un porcentaje, que inicialmente fijaremos en el 100% (el total de dicha suma); no obstante hemos querido tener la posibilidad de incrementar o reducir dicha cantidad en un porcentaje, con el fin de disponer de una mayor flexibilidad a la hora de cuantificar las impresoras a pedir, de acuerdo con cualquier otra información que dispongamos en ese momento conyuntural; entendiéndose que para efectuar un “sobrepedido”, simplemente hay que aplicar un porcentaje superior al 100%.

MODELO DE REAPROVISIONAMIENTO POR SIMULACION		
DATOS INICIALES:		
Inventario inicial=	50	Uds.
Pedido inicial=	25	Uds.
Nº días hábiles año:	220	
DATOS SOBRE LOS PEDIDOS:		
Punto de pedido=	20	Uds.
Nº días espera pedido:	1	3 días (D.Uniforme)
Porcentaje sobre el total pedido:	100%	Nota: sobrepedido >100%
Nº días máxi. para no perder la venta:	1	
COSTES PROCESO		
Coste unitario=	35.000 Pts	210,35 €
Coste pedido y recepción=	15.000 Pts	90,15 €
Coste mantenimiento inventario=	12,0% sobre coste irven. medio.	
Coste aparato no vendido=	35.000 Pts	

Figura 3

El coste de compra para la empresa es de 35.000 ptas. (**210,35**), **ascendiendo a 15.000 ptas. (90,15) los derivados de cada pedido y recepción del mismo** (suponemos que se tiene concertado un coste fijo para el pedido medio de artículos). El mantener las impresoras en el almacén nos supone un 12% sobre el valor del inventario medio anual; así mismo se establece que la falta de existencias, por encima de los días citados de “fidelidad” del comprador, provoca la no venta del producto, razón por la cual este coste lo hemos igualado al de compra. Para poder hacer el análisis anual, necesitamos conocer el número de días hábiles, y para esta empresa que trabaja de lunes a viernes, lo que implica un total de 220 días al año (tras descontar las vacaciones y otras fiestas nacionales, regionales y locales).

Realización del caso práctico:

Pasando ya al modelo realizado con la H.C., hemos elaborado dos tablas, una *principal*, y otra que denominaremos *secundaria*. En la *Figura 4*, podemos ver la primera de ellas (de forma “recortada”) Aunque se ha seguido el organigrama presentado anteriormente, la describiremos someramente:

Columna	Descripción
1	El nº de día del año (del 1 al 220).
2	La demanda aleatoria para ese día (obtenida por el procedimiento ya descrito)
3	La demanda total: suma de la anterior más la recuperada del día anterior
4	Valor del inventario inicial del día, que será igual al final del día previo.
5	Uds. recibidas en ese día –si así corresponde - que serán las del último pedido efectuado.
6	El inventario final del día: el inicial más las recibidas en ese día menos las demandadas (si es negativo se pone un cero).
7	Si el inventario final es menor que 20 (punto de pedido), se multiplica el % de pedido por la suma de las uds. demandadas desde el último pedido.
8	Si se ha efectuado pedido, realizamos =ALEATORIO.ENTRE (Inferior; Superior). En nuestro caso genera un nº equiprobable entero de [1, 3].
9	La diferencia en uds. entre la demanda y el stock final, si ésta es positiva (caso contrario se toma el cero).
10	Nº de días que faltan para recibir el último pedido realizado (días que restan para que llegue más uno para su disposición).

Día	Demanda alea.	Demanda día	Inven. ini	U reci.	Inven.fin	U.Pedi	Dias espera	U.faltan	D.faltan	U. recu
0					50	25	1			
1	14	14	50		36					
2	34	34	36	25	27					
3	26	26	27		1	48	3			
4	10	10	1		0			9	3	0
5	34	34	0		0			34	2	0
6	10	10	0		0			10	1	10
7	10	20	0	48	28					
8	10	10	28		18	64	3			
9	6	6	18		12					
10	14	14	12		0			2	2	0
11	10	10	0		0			10	1	10
12	26	36	0	64	28					
...
71	18	18	0		0			18	2	0
72	26	26	0		0			26	1	18
73	10	28	0	18	0	70	2	10	3	0
74	18	18	0		0			18	2	0
75	14	14	0		0			14	1	14
...
215	10	10	0		0			10	1	10
216	10	20	0	28	8	38	2			
217	14	14	8		0			6	2	0
218	18	18	0		0			18	1	18
219	10	28	0	38	10	32	1			
220	30	30	10		0			20	1	20
DATOS SIMULACIÓN: Totales y Medias										
	Dema.alea	Demanda.tot	inven. ini	u. Recibidas	Inven.fin	U.Pedidas	Dias espera	Faltan	D.faltan	Urecu
Sumas:	3.888	4.794	1.378	2.623	1.378	2.655	130	2.121		926
Medias:	18	22	6	41	6	41	2	15	2	7

Figura 4

- 11 Si el valor anterior no es mayor que los días máximos de espera del cliente, el mínimo entre las uds. que faltan y la cantidad del último pedido.

Aunque en la *Figura 4*, puede seguirse con facilidad la evolución de las “tiradas” diarias de simulación explicadas, llamaremos su atención sobre aspectos que consideramos interesante resaltar para una mejor comprensión del modelo elaborado que aquí se presenta; por ejemplo, vemos que el día primero, como había 50 uds. en el inventario y la demanda es de 14, el inventario final será de 36 impresoras; el día 3 la demanda era de 26 y había 27 uds. en stock, con lo cuál el inventario final es de 1 sola impresora, lo provoca que se efectuó un pedido de 48 uds. (14+34), que tardará aún tres días en llegar. En el día 4, faltan 9 uds., pero como aun restan 3 días para recibir un pedido, estas 9 impresora se pierden para la venta, recuperándose sólo las 10 del día 6, ya que al día siguiente se recibirán 48, valor que será añadido a la demanda del día siguiente. El día nº 72, faltan 26 uds., y aunque sólo falta un día para recibir una nueva remesa, como sólo se esperan 18 nuevas impresoras, no podemos recuperar más que esas 18...

Bajo la tabla anterior, se muestran los valores suma y promedio de las columnas citadas, los cuales serán reflejados más adelante en el resumen de resultados, y se verán utilizadas para el calculo de los costes. Así en esta simulación vemos, por ejemplo, que se han demandado 3.888 uds., se han recibido 2.623, han faltado 2.121 impresoras, siendo el pedido medio de 41 uds., y que el tiempo medio de espera del mismo es –efectivamente- de 2 días.

Día	pedidos	días	cambio días	Suma deman	Inven. 0	N.Pedidos	Días espera	Penuria
Inicial	25	2			0	1	0	0
1	25	1	0	14	0	0	1	0
2		0		48	0	0	1	0
3	48		3	0	0	1	0	0
4	48	3	0	10	1	0	1	1
5	48	2	0	44	1	0	1	1
6	48	1	0	54	1	0	1	1
7		0		64	0	0	1	0
8	64		3	0	0	1	0	0
9	64	3	0	6	0	0	1	0
10	64	2	0	20	1	0	1	1
11	64	1	0	30	1	0	1	1
12		0		56	0	0	1	0
....
71	18	2	0	44	1	0	1	1
72	18	1	0	70	1	0	1	1
73	70	0	2	0	1	1	0	1
74	70	2	0	18	1	0	1	1
75	70	1	0	32	1	0	1	1
....
215	28	1	0	38	1	0	1	1
216	38	0	2	0	0	1	0	0
217	38	2	0	14	1	0	1	1
218	38	1	0	32	1	0	1	1
219	32	0	1	0	0	1	0	0
220	32	1	0	30	1	0	1	1
Figura 5				Sumas:	145	65	156	142

Hemos de decir, llegados a este punto, que la elaboración del modelo con H.C. a base exclusivamente de funciones predefinidas, fundamentalmente la función condicional =SI

(correspondiente a la estructura IF THEN ELSE), sin recurrir a la programación mediante macros, no resultó nada sencilla, habiéndonos tenido que ayudar por una tabla complementaria adicional, que paralelamente a la principal arriba expuesta, nos proporcionó unos cálculos intermedios imprescindibles, como los del acumulado de la demanda diaria para, determinar la suma para cada nuevo pedido, la cuenta de los días que hay que hacer un pedido, la de los días que faltaron impresoras o las de aquellos días que el inventario quedó a cero. A título de curiosidad se muestra –de forma reducida- en la *Figura 5*, dicha tabla secundaria, con la simulación de los 220 días y las sumas consiguientes, que informan, por ejemplo, que se han efectuado 65 pedidos, o que en 145 ocasiones el inventario quedó a cero (un 65,9%).

Resultados obtenidos:

Si en la tabla con la simulación de los 220 días, contamos los días en se efectúan pedidos, se está esperando un pedido, el inventario está a cero o faltaron existencias, o cuántas impresoras hemos podido recuperar para la venta en el día siguiente; podemos obtener los porcentajes de ocurrencia de cada uno de estos eventos (*Figura 6*). En la tirada de simulación que aquí presentamos, destacamos que se ha podido recuperar 926 uds.(un 19,32%), de las 2.121 uds. que son posibles pérdidas (un 24,93%), habiéndose perdido definitivamente la venta de 1.195 impresoras (un 24,93%).

Finalmente con los resultados mencionados, podemos calcular los costes que intervienen en el proceso (en ptas. y euros), que en el supuesto que consideramos proporciona un total de 141.486.412 ptas. (**850.350,46**) como **coste total anual, pudiéndose constatar un alto gasto en uds. no vendidas : 41.825.000 ptas. o 251.373,31 (un 29,6% del coste total).**

DATOS SIMULACIÓN: DÍAS		Nº días	% Anual
PEDIDOS EFECTUADOS:		65	29,5%
ESPERANDO PEDIDOS:		156	70,9%
DÍAS CON FALTA		142	64,5%
INVENTARIO A CERO:		145	65,9%
DATOS SIMULACIÓN: UNIDADE:		Nº uds.	% Total
DEMANDA ALAEATORIA:		3.888	
DEMANDA TOTAL:		4.794	
POSIBLE PÉRDIDA DE VENTAS:		2.121	44,24%
VENTAS RECUPERADAS:		926	19,32%
PÉRDIDA DE VENTAS FINAL:		1.195	24,93%
RESULTADOS SIMULACIÓN (año):			
COSTE COMPRA:		92.925.000 Pts	(€ 558.490,50)
COSTE PEDIDO Y RECEPCION:		975.000 Pts	(€ 5.859,87)
COSTE MANTENIMIENTO:		5.761.412 Pts	(€ 34.626,78)
COSTE POR NO VENTAS:		41.825.000 Pts	(€ 251.373,31)
TOTAL:		141.486.412 Pts	(€ 850.350,46)

Figura 6

Según hemos dicho anteriormente, puede existir bastante dispersión entre el resultado entre una “tirada” (recalculo de la hoja de cálculo) de simulación y otra, sobretodo –como ocurre en este caso- que la demanda puede variar entre un amplio margen de uds; para evitar que los valores que tomemos sean esporádicos, más que realizar más tiradas diarias, deberemos realizar varias de las citadas tiradas de 220 días, ir anotando los resultados que

obtenemos en cada ocasión, y calcular la media de todos ellos, con lo cual estaremos ajustando más la precisión de la predicción efectuada con la simulación.

Hemos realizado un pequeño “programa” (válido para *Lotus 123* y *Excel*) que realiza 100 simulaciones o tiradas anuales, almacena (en una tabla de 100 filas y tres columnas) el coste total obtenido, las uds. demandadas y las pérdidas de simulación, calculando entonces la media de los 100 resultados obtenidos, así como los tantos por ciento correspondientes. En la *Figura 7*, podemos observar dicha tabla – recortada –, con las medias para las 100 tiradas: 149.927.652 ptas. (**901.083,34**), y un porcentaje del **30,40%** de impresoras demandadas y no vendidas finalmente. Un gráfico con la oscilación de dicho coste total completa la información obtenida.

Nº TIRADA	Uds. Demandas	Uds. Pérdidas	COSTE TOT.	Medias
1	4.118	1.119	152.859.575	4.057
2	4.080	1.315	147.247.543	1.233
3	3.994	1.195	150.183.140	149.927.652
4	4.156	1.305	151.072.104	
5	4.084	1.357	150.731.240	Porcentajes
6	3.928	1.213	144.029.688	30,40%
7	4.100	1.245	149.948.176	
8	4.072	1.265	150.188.991	
9	4.168	1.335	152.407.792	
10	4.202	1.041	157.446.448	
....	
95	4.240	1.167	157.405.000	
96	3.996	1.333	147.050.769	
97	3.990	1.227	149.340.697	
98	4.034	1.289	148.165.629	
99	3.964	1.305	143.265.344	
100	3.906	1.265	142.444.489	

Figura 7



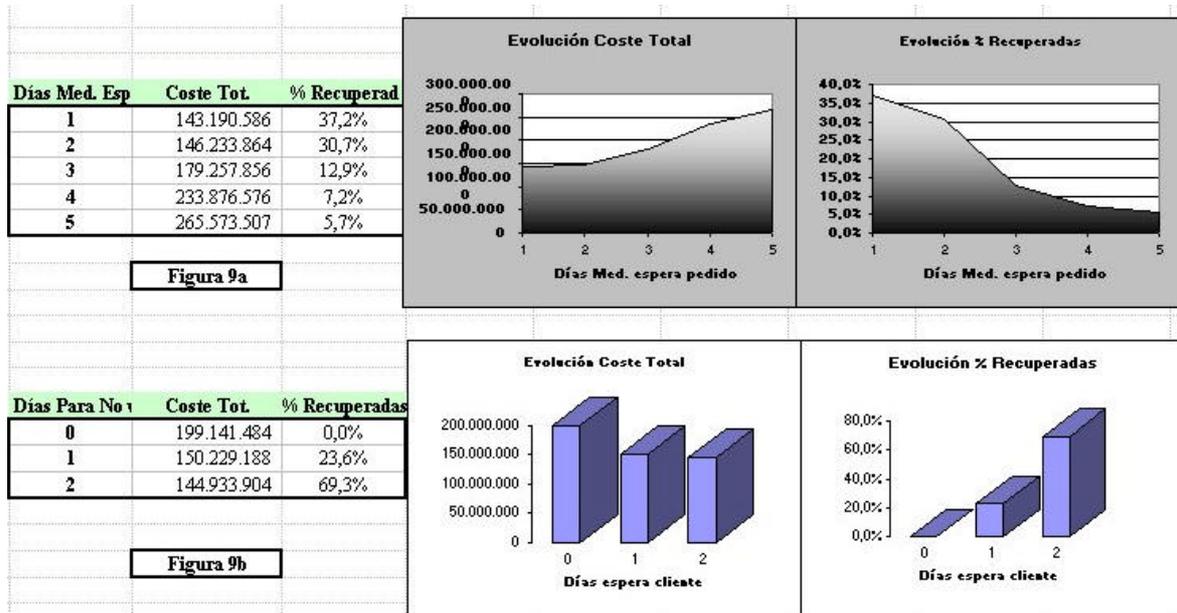
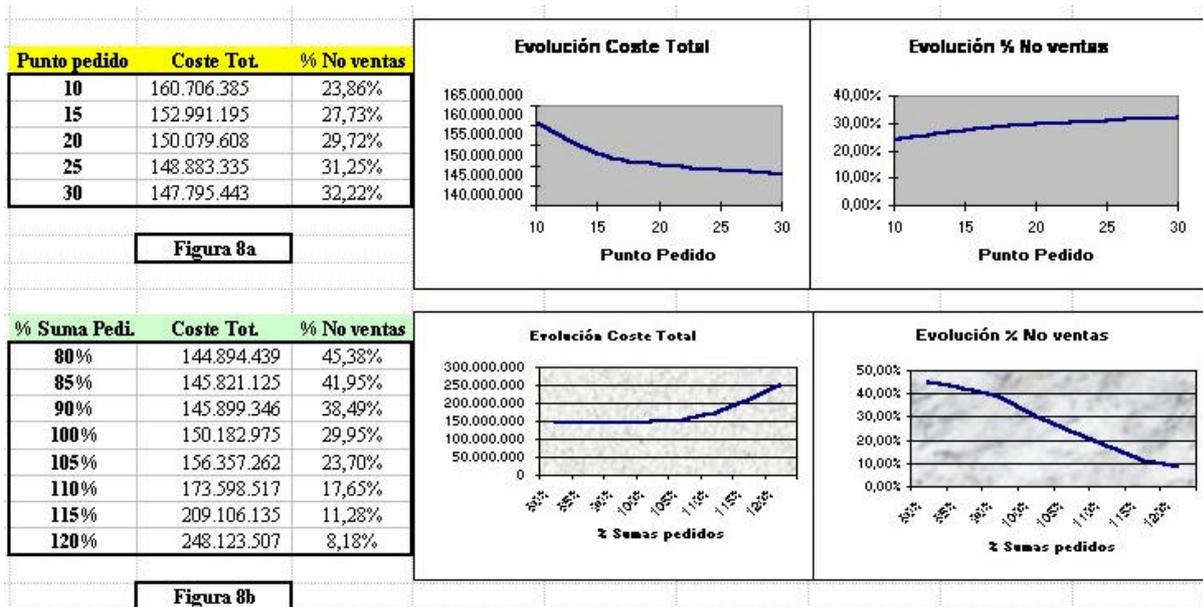
Otras pruebas realizadas:

Con el fin de proponer posibles mejoras que optimicen los resultados anteriores, al tiempo que comprobar la coherencia del modelo elaborado, recurriremos a variar determinadas variables del modelo y evaluar como ésta afectará a los mismos, tras realizar las referidas 100 tiradas anuales y calcular la media de los 100 resultados obtenidos.

En primer lugar deseamos ver como evolucionaría el coste total al variar el punto de pedido; en la *Figura 8a*, se muestra –de forma analítica y gráfica– como al ir creciendo de 10 hasta 30 uds. (recuérdese que para el modelo estándar eran 20 uds.), el coste va decreciendo, pero por el contrario, al esperar más tiempo para efectuar los pedidos de reaprovisionamiento,

ello produce un efecto negativo sobre el porcentaje de impresoras demandadas que dejamos de vender por falta de existencias; la empresa deberá evaluar que prefiere, si disminuir costes o mejorar el servicio a sus clientes.

Una forma de perder menos clientes será la de realizar pedidos más voluminosos; evolución que se presenta en la *Figura 8b*, donde hemos variado desde un 80% hasta un 120% (un 20% por encima de la suma de la demanda desde el último pedido) dicho reaprovisionamiento; se observa, por ejemplo, que al pasar del 100% al 105%, con un crecimiento de sólo 6 millones de coste total, conseguimos reducir un 6% la pérdida de ventas; aunque ello pueda llegar a obligar a mejorar nuestra capacidad de almacenamiento.



Si lo que interesa a la empresa es recuperar ventas, lo que supone dar una mejor calidad de servicio y una mejor imagen, podemos intentar reducir el tiempo de espera de los pedidos; así en la *Figura 9a*, se aprecia por ejemplo, que si la media de dicho tiempo (de la distribución uniforme), bajase de 2 días a 1, se incrementarían casi un 7% los clientes

recuperados, al tiempo que se ve claramente que por el contrario, el aumento de la espera, provocaría una caída de las ventas recuperadas. Quizás sería interesante buscar una empresa de transportes más eficaz o renegociar con la misma una mejora en el tiempo de respuesta.

Otra forma de no perder ventas es la de conseguir que nuestros clientes estén dispuestos a esperar un número de días mayor; así, si en vez de sólo un día, esperasen dos, el porcentaje de recuperadas (*Figura 9b*) pasaría del 23,6% al 69,3% (un 45,5% más), con lo cuál implica que con un coste de unos 5 millones más (5.295.284 ptas.), sería posible vender muchas más impresora, de forma que si tenemos una demanda aproximada de 4.000 uds. ese año, la repercusión sería de aproximadamente de 1.300 ptas/uds.; se nos ocurre que este mayorista se podría permitir realizar ofertas e incluso algún incentivo (como pequeños regalos) a los clientes, para que esperen un día más.

Otras mejoras y aplicaciones del modelo:

Nunca un modelo está finalizado del todo, siendo posible mejorarlo a gusto del usuario, aquí hemos pretendido no complicarlo en demasía; podrían plantarse otros estudios análogos a los realizados en el punto anterior, de acuerdo con las necesidades reales de la empresa en cuestión y sus prioridades u objetivos.

De igual forma podrían plantearse variaciones de más calado e incluso algunas limitaciones; por ejemplo, sería interesante establecer una condición de limitación de la capacidad del almacén, lo cuál podría ser un problema en el caso de tratarse de productos de mayor tamaño que las impresoras de nuestro supuesto práctico; en ese caso, simplemente tendríamos que “retocar” la función que determina el número de uds. a pedir, y establecer el máximo entre el valor suma demandado y la capacidad total de nuestro almacén...

CONCLUSIONES:

Consideramos que ha quedado patente la utilidad concreta que puede tener a la hora de controlar y planificar nuestras existencias un modelo como el presentado, al tiempo que se puede concluir que se trata en definitiva se trata de elaborar la información que precisamos, la que hemos denominado información útil, y gracias a este tipo de modelos de simulación y la herramienta de las H.C., esto es cada día más posible a la vez que más necesario.

BIBLIOGRAFÍA:

AVERIL M. LAW and W.DAVID KELTON. “Simulación Modeling and Analysis”. Ed. McGraw-Hill. 1.990.

F.ESCUDERO, L. “La Simulación en la Empresa”. Ed. Deusto. 1.973.

BERNAL GARCÍA, J.J. “Introducción a los Modelos de Simulación como apoyo a la toma de Decisiones en la Empresa. Caso Practico: Simulación de la Producción-Demanda. Ed. Estrategia Financiera. Nº. 122. Págs: 39-51..Octubre 1.996.