

Decidiendo el Volumen de Producción Mediante el Análisis Probabilístico de la Demanda

*Carlos Enrique Díaz Estrada**
*Roberto Ley Borrás***

Introducción

Las empresas manufactureras que atienden una demanda incierta de productos deben decidir con anticipación cuánto fabricar durante un periodo de tiempo determinado. Y corren el riesgo de tener exceso o déficit de producción. Las empresas en esta situación son aquellas que operan principalmente fabricando para inventario; esto es, la mayor parte o toda su producción no es sobre pedido. En esta situación se encuentran empresas farmacéuticas, de alimentos, electrónicas y refresqueras, entre muchas otras que producen para el consumidor final.

Para determinar el nivel de producción para satisfacer una demanda futura, las empresas se basan tradicionalmente en procedimientos, modelos y técnicas que no incluyen la incertidumbre en la demanda de productos y, menos aún, la incertidumbre en los factores que la afectan, por lo que la demanda pareciera ser conocida con certeza. Por lo tanto, estos modelos no consideran los riesgos que se

tienen al producir a diferentes niveles.

Para facilitar la toma de decisiones sobre la cantidad a producir durante un periodo de tiempo futuro, así como superar algunas de las limitaciones que presentan los métodos y técnicas de pronósticos tradicionales, se ha desarrollado un modelo de decisión que incluye un análisis probabilístico de la demanda y de los factores que influyen sobre ella. Utilizando este modelo, las empresas manufactureras pueden tomar mejores decisiones, aprovechar las oportunidades del mercado y mejorar su rentabilidad.

1. El reto de incluir la incertidumbre en las decisiones de producción

Para que una empresa pueda competir y obtener buenos resultados, es necesario que sus directivos tomen buenas decisiones. Una de las decisiones más importantes para las empresas que fabrican principalmente para inventario es determinar cuánto se debe producir para un periodo futuro (Hopeman, 1999). Además, considerando que esta decisión se realiza periódicamente, se justifica ampliamente tener una buena manera de decidir. Desafortunadamente, en muchos casos se utilizan modelos y técnicas basadas en factores determinísticos, que no son adecuados para modelar sistemas reales complejos. Usar herramientas inadecuadas puede tener como consecuencia que se tomen decisiones que perjudiquen o, al menos, no benefician plenamente a la empresa.

Una limitación común de los modelos y técnicas tradicionales (Ley Borrás, 2000) para la determinación de la cantidad óptima de producción es que consideran que la demanda es conocida con certeza o, equivalentemente, que puede utilizarse la demanda promedio como base para los cálculos. Esta limitación impide considerar, en la decisión sobre el volumen de producción, los costos y riesgos de producir en exceso o por debajo de la demanda real. Es más, aunque la empresa genere una distribución de probabilidad que exprese la incertidumbre sobre la demanda, los modelos tradicionales no tienen cabida para esa información; en el mejor de los casos, se pueden utilizar modelos estocásticos, como el de Box Jenkins (Makridakis y Wheelwright, 1994), pero aun éstos no proporcionan una distribución de probabilidad de la variable de interés; además, siempre dependen completamente de las características de la serie de datos que se utilice (Farnum y Stanton, 1989) y esas características no siempre son un buen indicador de la situación futura.

Utilizando un modelo de análisis de decisiones es posible incluir la incertidumbre sobre la demanda y los factores que la afectan, así como para realizar un análisis probabilístico y calcular explícitamente las consecuencias asociadas con los diferentes niveles de producción. Con ello, las empresas pueden tomar mejores decisiones sobre los niveles de producción y, consecuentemente, pueden mejorar la rentabilidad de sus operaciones.

*Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial con concentración en Análisis de Decisiones por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Especialista de la Competencia de Economía del Instituto Mexicano del Petróleo sede Cd. del Carmen, Camp. Correo electrónico: cediaz_tuguchis@mexico.com.

**Doctor en Ingeniería de Sistemas Económicos por la Stanford University, Cal., EUA. Profesor-Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Orizaba. Correo electrónico: rley@prodigy.net.mx

2. Construyendo un modelo de decisión que incluye la incertidumbre

En su expresión más simple, la situación de decisión sobre el nivel de producción incluye tres elementos:

- 1) La decisión sobre el volumen de producción, que tiene como alternativas los diferentes volúmenes que es posible producir.
- 2) El evento incierto acerca de la demanda real que ocurrirá, que tiene como sucesos los niveles de demanda que pueden ocurrir.
- 3) Las consecuencias de las diferentes combinaciones de volúmenes de producción y niveles de demanda (ingresos y costos).

En el diagrama de influencia de la Figura 1 se muestra la decisión como un rectángulo (nodo de decisión), el evento incierto como un óvalo (nodo probabilístico) y las consecuencias como un nodo rectangular con las esquinas redondeadas (nodo de valor). La flecha que va del nodo de decisión al nodo de valor indica que la alternativa que se seleccione afecta las utilidades de la empresa. Similarmente, la flecha que va del nodo probabilístico al nodo de valor indica que la demanda que ocurra afectará las utilidades de la empresa. El nodo probabilístico está rotulado “*Demanda materializada*” para enfatizar que se refiere a la demanda realmente hecha a la empresa y no a la demanda potencial o demanda atendida por otros fabricantes. También debe diferenciarse “*Demanda materializada*” de “ventas”, ya que cuando la demanda materializada es mayor que el volumen de producción, sólo se vende lo que se produjo, que en ese caso es menor que la demanda.

El nodo “*Cuánto producir*” tiene como alternativas los diferentes volúmenes de producto que la empresa pueda fabricar; este volumen puede estar indicado por el número de jornadas de trabajo, número de trabajadores, número de máquinas

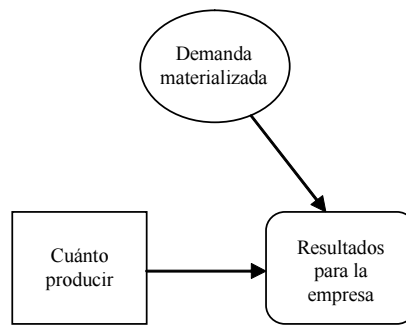


Figura 1. Diagrama de influencia inicial. La decisión y el evento incierto determinan los resultados.

disponibles, número de lotes o cualquier otro factor que haga la diferencia entre una alternativa y otra.

Para visualizar el significado detallado de este modelo de decisión inicial, éste puede representarse como un árbol de decisiones. Un ejemplo de esta representación para una situación particular se muestra en la Figura 2. En el árbol de decisiones, las alternativas se representan como ramas que salen del nodo de decisión (cuadrado). Hay una alternativa por cada posible nivel de producción. Al seleccionar el nivel de producción se enfrenta la incertidumbre de la demanda que se tendrá (en la figura sólo se desarrolla el nodo probabilístico para la primera alternativa; se produce de la misma manera para las otras alternativas). Del nodo probabilístico (círculo), emergen ramas que representan sucesos, niveles de demanda en este caso, y a cada suceso está asociado un valor de probabilidad de ocurrencia.

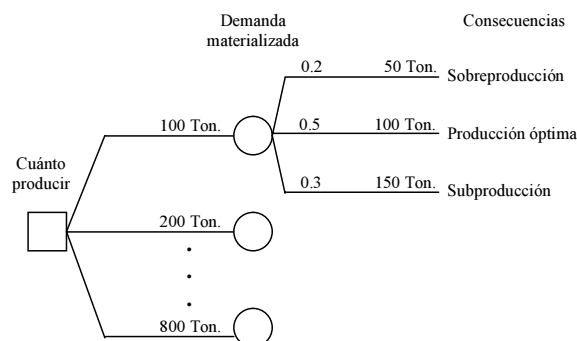


Figura 2. Árbol de decisión del modelo inicial. Las combinaciones de las alternativas de nivel de producción con los niveles de *Demanda materializada* producen diferentes consecuencias.

Finalmente, cada combinación de alternativa con suceso produce un resultado que tiene diferente impacto económico en la empresa.

La incertidumbre de la *Demanda materializada* es la que afecta a los resultados de interés, pero cabe la pregunta ¿qué afecta a la *Demanda materializada*? Después de analizar la situación que típicamente enfrentan las empresas que producen para inventario, se concluyó que es afectada principalmente por cuatro variables, también inciertas: *Demanda Total*, *Oferta total*, *Percepción del consumidor* y *Efectividad del esfuerzo de ventas*.

La relevancia de estas variables a la *Demanda materializada* se muestra en el mapa de conocimiento de la Figura 3. Las flechas que van de cada uno de los cuatro nodos hacia el nodo central, indican que la distribución de probabilidad de la *Demanda materializada* cambia cuando ocurren diferentes sucesos de los nodos donde se origina la flecha. Este mapa indica cómo el conocimiento que se tiene de las cuatro variables, permite determinar una distribución de probabilidad más confiable de la variable de interés: la *Demanda materializada*. A continuación se describen los cuatro factores que afectan la demanda materializada.

Efectividad del esfuerzo de ventas, es el grado (medido en porcentaje) en que se logran las metas de ventas para el periodo de tiempo que se

pronostica con los recursos asignados (personal disponible para ventas, publicidad que se implementará, etc.). Las ventas de periodos anteriores divididos entre sus respectivas metas dan como re-

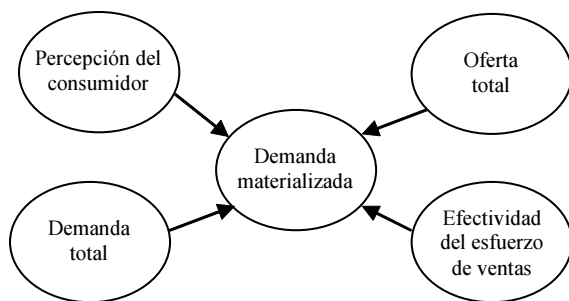


Figura 3. Mapa de conocimiento para la *Demanda materializada*.

sultado los porcentajes de efectividad históricos; éstos pueden ajustarse para reflejar la información actual sobre el periodo de interés.

Percepción del consumidor del producto analizado, es un índice (del 1 al 10, siendo 10 el máximo), que refleja el grado en que a los consumidores les agrada el producto con respecto a los productos competidores. Esta percepción puede considerar sabor, olor, apariencia, facilidad de uso, disponibilidad para adquirirlo, durabilidad, comodidad, seguridad, etc., dependiendo de la naturaleza del producto que se analiza y de acuerdo a las necesidades del consumidor.

Demanda total, son las ventas existentes en la zona o región donde se localiza el mercado de la empresa que utiliza el modelo de decisión, expresadas en la cantidad de productos que realmente le piden a toda la industria de esa zona, es decir, la cantidad de productos que los compradores están dispuestos a adquirir a toda la industria, para el periodo de tiempo bajo estudio.

Oferta total, es el volumen de producción (cantidad de producto) que ofrece toda la industria (todas las empresas que ofrecen el mismo tipo de producto) en la región donde se localiza el mercado de la empresa que utiliza el modelo de decisión.

En realidad, tanto la *Demanda total* como la *Oferta total* son variables complejas para las que puede ser valioso identificar facto-

res relevantes. El mapa de conocimiento de la Figura 4, muestra que la *Demanda total* es condicionada por el *Precio unitario del producto* y el *Poder adquisitivo de clientes potenciales*.

Precio unitario del producto, es el precio al que la empresa vende cada unidad de producto en el mercado durante el periodo de tiempo que se está analizando.

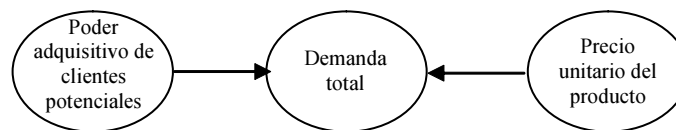


Figura 4. Mapa de conocimiento para la *Demanda total*.

Poder adquisitivo, para fines de este trabajo, es el poder de compra (en porcentaje) que tiene una unidad monetaria de los clientes potenciales, tomándose en consideración el porcentaje de incremento al salario mínimo general correspondiente a la zona. Esta variable se mide con base en el mismo periodo del año anterior y para su cálculo debe utilizarse la inflación acumulada (a partir de una fecha base) de acuerdo al Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). En realidad, es la inflación acumulada la que se pronostica. Una vez que se tiene el pronóstico se puede utilizar la Ecuación 1 para obtener el poder adquisitivo correspondiente a ese periodo.

Poder adquisitivo=

$$\left(\frac{1}{1 + \text{Inflación. acum.}} \right) (100) + \% \text{ incremento salarial } (1)$$

El *Poder adquisitivo* pronosticado sigue la misma distribución de probabilidad que la inflación, debido a que se calcula mediante la utilización de ésta.

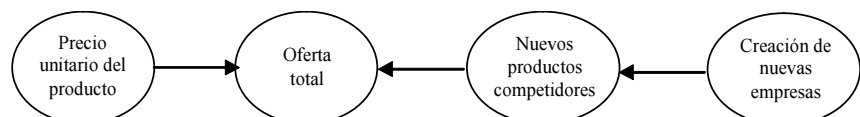


Figura 5. Mapa de conocimiento para la *Oferta total*.

El mapa de conocimiento de la Figura 5, muestra que la *Oferta total* es afectada por el *Precio unitario del producto* y el *Lanzamiento de productos competidores*; este último, a su vez, es condicionado por *Creación de nuevas empresas*.

Nuevos productos competidores, se refiere a la posibilidad de que se lance o no un nuevo producto al mercado, antes o durante el periodo de tiempo bajo análisis y, desde luego, que hiciese competencia al producto al que se pronosticará su demanda.

Creación de nuevas empresas, se refiere a si alguna nueva empresa

competidora labora o no durante el periodo de interés.

Integrando los mapas de conocimiento en el diagrama de influencia inicial, se obtiene un modelo de decisión en el que está representada de manera detallada la incertidumbre de la situación de decisión. Este modelo se muestra en la Figura 6.

Especificación del nodo de resultados

En la mayoría de las ocasiones, el volumen de producción de una empresa para un periodo de tiempo determinado es diferente a la *demanda materializada* durante ese mismo periodo de tiempo. Si el volumen de producción es mayor que la *demanda materializada*, los productos se quedan almacenados esperando a que sean demandados para que puedan ser vendidos, mientras tanto, necesitan mantenimiento, ocupan espacio, pueden

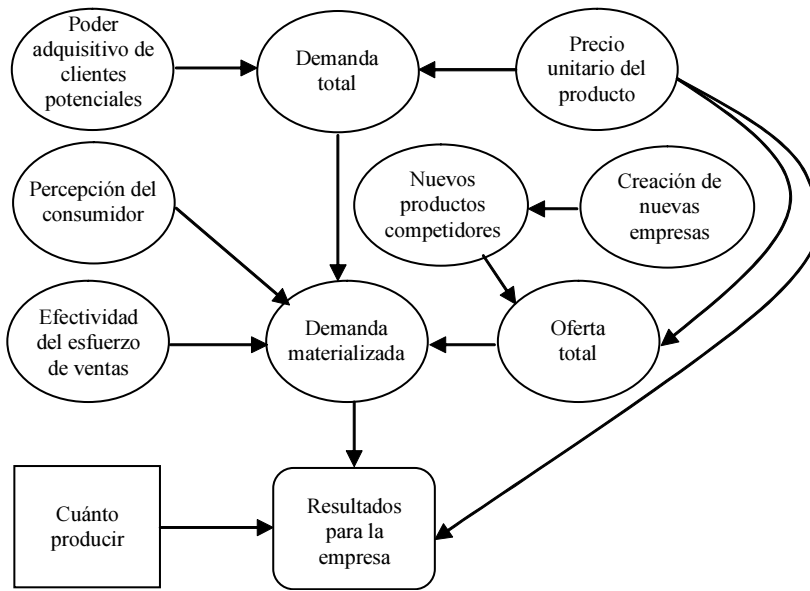


Figura 6. Modelo de decisión para el volumen de producción.

pasar de moda o caducar, el dinero invertido está paralizado, generándose de esa manera costos por mantener productos en inventario. Por otro lado, si el volumen de producción es menor que la *demanda materializada*, entonces se tienen productos faltantes, de tal manera que es posible que los clientes que no encuentren el producto, elijan un sustituto, se vayan con la competencia y no regresen, o cuando menos, la empresa deja pasar la oportunidad de obtener más utilidades; éste es el costo por productos faltantes. Esto se expresa en la Tabla 1.

Condición	Consecuencia
Producción mayor que demanda	Costo por llevar inventario
Producción menor que demanda	Costo por faltante

Tabla 1. Consecuencias de la diferencia entre los niveles de producción y demanda.

Los costos por llevar inventario y los costos por faltantes, afectan negativamente a los *resultados para la empresa*; es por tal razón que se desea seleccionar un nivel de producción que minimice estos costos y consecuentemente maximice las utilidades. Este deseo de la empresa se expresa en el nodo de resultados.

El nodo *Resultados para la empresa* contiene una ecuación que se utiliza

para obtener la utilidad como la diferencia entre los ingresos y los costos (Ecuación 2). Los ingresos están determinados por el *precio unitario del producto* multiplicado por la cantidad de productos que se venden y los costos están determinados por el costo de producción variable multiplicado por la cantidad de productos que se venden, considerando el costo fijo, el costo por llevar inventario y el costo por faltante de productos. La ecuación contenida en este nodo toma en consideración los costos cuando la producción es mayor o menor que la *demanda materializada* y debido a que en el modelo se incluye la incertidumbre, realiza un balance entre los costos por llevar inventario y los costos por tener productos faltantes; de esa manera, el modelo selecciona la alternativa con la mayor probabilidad de minimizar esos costos.

Las ecuaciones contenidas en el nodo y que hacen posible realizar el balance son las Ecuaciones 2,3 y 4.

$$U = I - C \quad (2)$$

$$I = (P) * \text{Min}(D, N + I_i) \quad (3)$$

$$C = (C_u) * \text{Min}(D, N + I_i) + [(C_i) * \text{Max}(N + I_i - D, 0)] + [(C_f) * \text{Max}(D - N - I_i, 0)] + CF \quad (4)$$

Donde:

U = Utilidad

I = Ingresos

C = Costos

P = Precio unitario del producto

C_u = Costo unitario variable de producción

C_i = Costo unitario por llevar inventario

C_f = Costo unitario por faltante

CF = Costo fijo

D = Demanda materializada

N = Nivel de producción (alternativa)

I_i = Inventario inicial

0 = Cero

En la Ecuación 3, para determinar el ingreso se multiplica el *precio unitario del producto* por la cantidad de productos que se venden y para obtener esa cantidad de productos que se venden, debe obtenerse la menor cantidad (para ello se usa la función Min) de entre la *demanda materializada* y el nivel de producción más el inventario inicial, ya que la *demanda materializada* y el nivel de producción varían de acuerdo al suceso y a la alternativa respectivamente.

En la Ecuación 4, el costo unitario variable de producción es multiplicado por la cantidad de productos que se venden, por lo tanto, debe obtenerse la cantidad menor de entre la *demanda materializada* y el nivel de producción más el inventario inicial; el costo unitario por llevar inventario es multiplicado por la cantidad de productos que se quedan en inventario, para ello, debe obtenerse la máxima cantidad de entre el resultado de la expresión nivel de producción más inventario inicial menos *demanda materializada* y cero. Si el resultado de dicha expresión es positivo, indica que quedan productos en inventario; el costo unitario por faltante es multiplicado por la cantidad de productos que hagan falta para satisfacer la *demanda materializada*, para ello, debe obtenerse la máxima cantidad de entre el resultado de la expresión *demanda materializada* menos nivel de pro-

ducción menos inventario inicial y cero. Si el resultado de esa expresión es positivo, indica que hay faltante de productos. Si en la Ecuación 4 los resultados de las expresiones dentro de la función *Max* son ceros, indican que el volumen de producción es igual a la *demanda materializada*.

El nodo *Resultados para la empresa* se expresa en unidades monetarias. Los resultados obtenidos se pueden expresar en UDIs (Unidades de Inversión indexadas a la inflación), en pesos, o en cualquier otra unidad monetaria. Si se desea realizar comparaciones monetarias entre las ventas de un periodo con respecto a otro, se recomienda que los *Resultados para la empresa* se expresen en UDIs, debido a que ésta “descuenta” la inflación, por consiguiente, pueden hacerse comparaciones en términos de poder de compra real.

Otros factores a considerar

El modelo de decisión puede incluir parámetros y variables adicionales que podrían ser significativos en algunas situaciones. Por ejemplo, la temporada del año para la que se está haciendo el análisis es muchas veces un factor importante, aunque éste no es un factor incierto, la demanda de muchos productos es estacional y esto debe reflejarse en la asignación de distribuciones de probabilidad a las variables centrales del modelo. Algunos otros factores que pueden tomarse en cuenta, y en algunos casos hasta integrarlos al modelo son:

Apertura de fronteras; para el producto y periodo que se analizan, especialmente si es una apertura reciente.

Inflación; tiene como consecuencia una disminución en el poder de compra de la moneda.

Nivel de ingresos de los compradores; entendiendo por ello el ingreso monetario promedio que tienen los compradores potenciales del producto que se analiza.

Paridad peso-dólar; debe utilizarse cuando los ingresos o costos del modelo se realizan en dólares y representa la cantidad de pesos equivalentes a un dólar durante el periodo de tiempo en estudio.

Satisfacción previa del consumidor; ya que cuando el cliente ha comprado el producto, al utilizarlo se forma un criterio de satisfacción de acuerdo al desempeño que el producto ha tenido.

Crecimiento económico; definido como un aumento sostenido de la producción per cápita de una sociedad, o en términos de la producción total de un país (Peterson, 1981).

Turbulencia política; puede darse por cambios en el gobierno, por crisis políticas o cualquier otro evento que altere la tranquilidad social y, por lo tanto, puede afectar la economía del país.

Otros factores que pueden considerarse son alicientes ofrecidos por la competencia como el servicio postventa, facilidad de adquirir el producto, descuentos, promociones, rifas y otras estrategias que los competidores ofrecen a los clientes potenciales para atraer su atención y, por lo tanto, pueden modificar la percepción hacia su producto.

Si se desea tener en cuenta algunos de estos factores sin incurrir en la obligación de cuantificarlos, los factores pueden ser añadidos al diagrama de influencia como nodos evocativos (óvalos con líneas discontinuas) (Ley Borrás, 2001).

Datos que típicamente se requieren

Para evaluar el modelo, la administración de la empresa y las personas que asignen valores y probabilidades a uno o más nodos probabilísticos, deben contar con información confiable; ésta incluye capacidad de la planta, niveles posibles de producción, inventario inicial, información histórica de ventas, costos fijos, costo unitario variable de producción, costo unitario por llevar inventario, costo unitario por

faltante, precio unitario actual del producto, productos similares existentes, esfuerzo de ventas (personal disponible para ventas, tipo de publicidad que se tiene o se implementará), entre otros. Estos datos pueden representarse en el modelo como parámetros (rectángulos con esquinas redondeadas). Algunos de esos datos necesarios para la evaluación del modelo de decisión se presentan en la Figura 7.

3. Análisis de sensibilidad

Antes de asignar las distribuciones de probabilidad a las variables inciertas del modelo, vale la pena realizar el análisis de sensibilidad al rango de la variable (también conocido como análisis de sensibilidad determinístico). Este análisis permite determinar la contribución de cada variable a la incertidumbre total de la situación de decisión. Una vez hecho el análisis de sensibilidad se mantienen como variables probabilísticas aquellas variables que en conjunto acumulan el 90% de la incertidumbre total (o un poco más si no se complica mucho el modelo) en los *Resultados para la empresa*. Las variables que contribuyan con el resto de la incertidumbre (menos del 10%), se modelan como parámetros (con un solo valor), utilizando sus valores base respectivos (sus medianas).

Finalmente, se evalúa el modelo de decisión directamente o utilizando un programa especializado como DPL: *Decision Programming Language* (ADA, 1995). La evaluación del modelo indicará el nivel de producción que maximiza las utilidades y proporcionará la distribución de probabilidad de las utilidades correspondientes a la mejor alternativa.

4. Utilización del modelo de decisión en una situación real

Descripción de la situación

La administración de una empresa embotelladora de una bebida

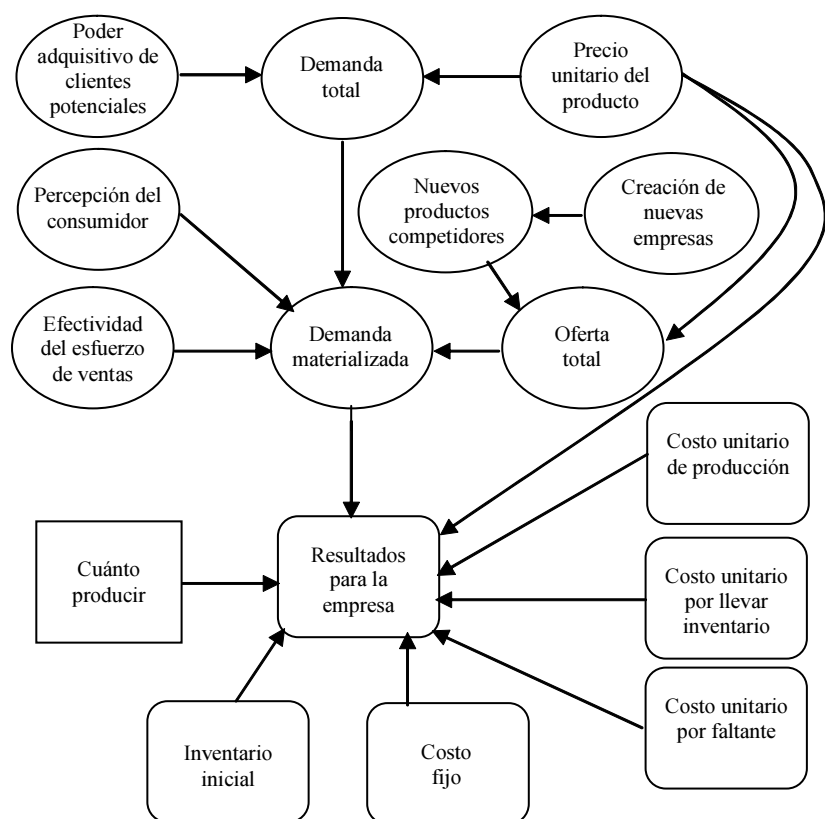


Figura 7. Modelo de decisión incluyendo parámetros de costos.

que llamaremos Superdrink, desea determinar la cantidad de cajas (cada caja contiene 8 botellas) de Superdrink 2 litros no retornable, que debe llenar (producir) durante el próximo mes de febrero. La determinación del volumen de producción de este producto es importante debido a que si se produce más que la *demand materializada* entonces las cajas con botellas llenas que se quedan en inventario generan un costo de \$15 por cada unidad; por otro lado, si la producción es menor que la demanda materializada, se tiene un costo por faltante que se estima de \$25 por unidad.

Cabe mencionar que recientemente se incrementó el número de rutas cubiertas por esta empresa, así que existe más incertidumbre que de costumbre acerca de la cantidad de producto que se va a demandar.

Modelación inicial de la situación de decisión para Superdrink

Usando como base el modelo

de decisión presentado en la Figura 7, considerando las condiciones de la empresa y del producto del cual

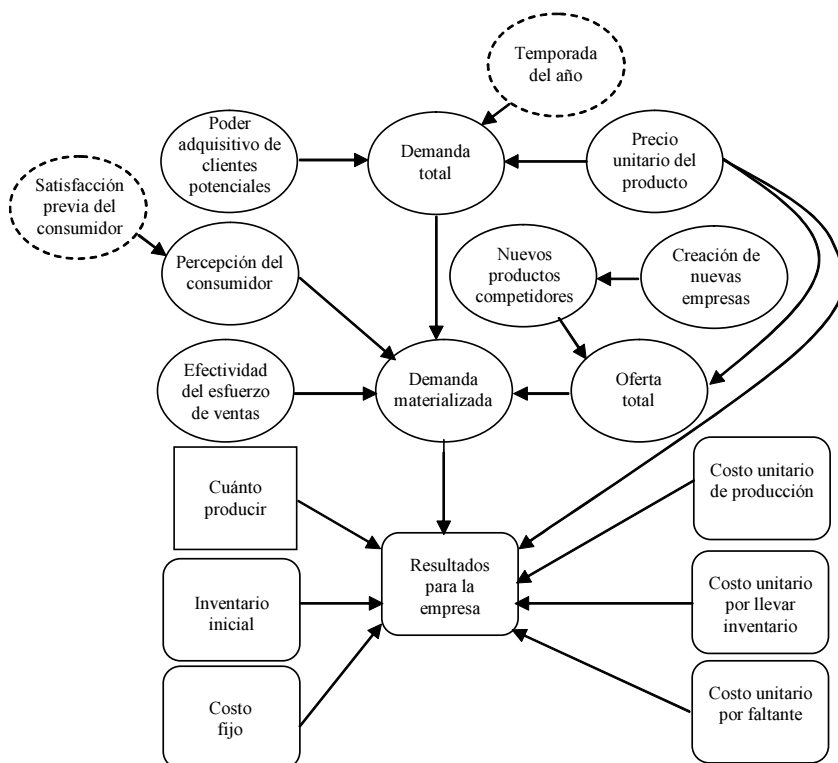


Figura 8. Modelo de decisión particular obtenido a partir del modelo general.

se desea determinar el nivel de producción, se generó el modelo de decisión que se presenta en la Figura 8.

Realizando el análisis de sensibilidad al rango de las variables se identificaron las variables inciertas que contribuyen en mayor grado a la variabilidad de los resultados. El producto de este análisis, expresado mediante un diagrama de tornado, se muestra en la Figura 9.

Ordenando las variables de mayor a menor de acuerdo a la contribución en la variabilidad de los resultados, según se presenta en la Tabla 2, se establece que cuatro variables aportan el 97% de la variabilidad. Estas variables son: *Demand materializada*, *Efectividad del esfuerzo de ventas*, *Precio unitario del producto* y *Demand total*.

Para simplificar la asignación de probabilidades, sin pérdida significativa de exactitud, se modificó el modelo para mantener como nodos probabilísticos sólo aquellos que contribuyen con la casi totalidad de la variabilidad de los

IMPACTO DE LAS VARIABLES EN EL RESULTADO

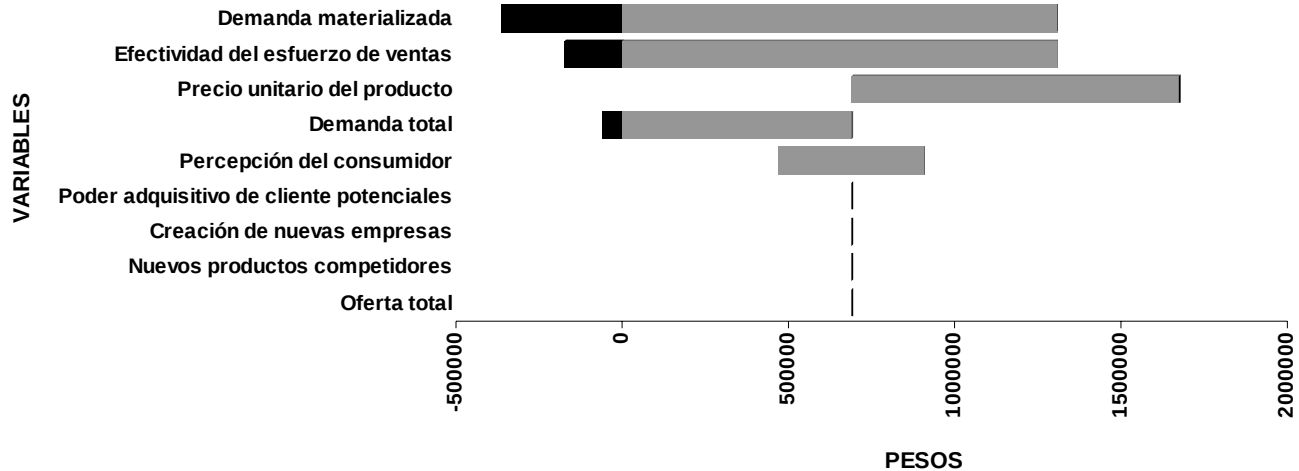


Figura 9. Diagrama de tornado para el análisis de sensibilidad del mes de febrero.

Variables	% de contribución a la incertidumbre total	% de contribución acumulado
Demanda materializada	41.21	41.21
Efectividad del esfuerzo de ventas	32.27	73.48
Precio unitario del producto	16.98	90.46
Demanda total	6.71	97.17
Percepción del consumidor	2.83	100.00
Poder adquisitivo de clientes potenciales	0.00	100.00
Creación de nuevas empresas	0.00	100.00
Nuevos productos competidores	0.00	100.00
Oferta total	0.00	100.00

Tabla 2. Contribución de los nodos probabilísticos a la variabilidad del resultado.

resultados (se decidió incluir las cuatro variables principales según

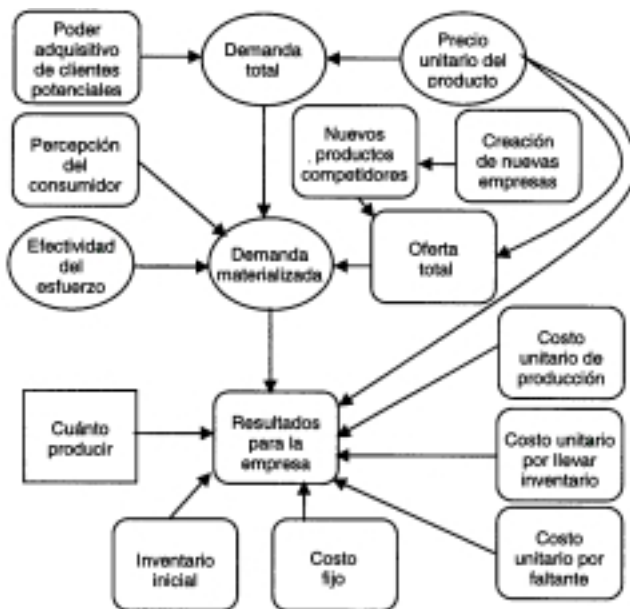


Figura 10. Modelo de decisión después de análisis de sensibilidad.

nerar las cuatro distribuciones de probabilidad requeridas. Para evaluar la *Efectividad del esfuerzo de ventas* se contó con información histórica que relaciona las metas de venta planteadas y las ventas logradas. Agrupando los datos y realizando un ajuste a una distribución predefinida de probabilidad, se obtuvo la distribución triangular mostrada en la Figura 11.

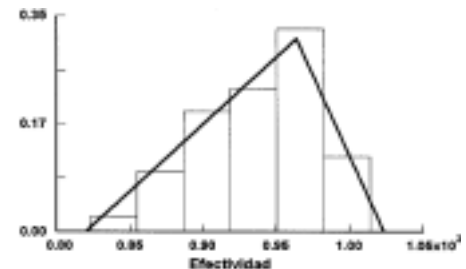


Figura 11. Distribución triangular ajustada para la *Efectividad del esfuerzo de ventas* con parámetros (82, 103, 96).

el análisis de sensibilidad). Transformando los nodos probabilísticos de poca variabilidad en nodos determinísticos se obtuvo el modelo simplificado que se presenta en la Figura 10.

Cálculo de distribuciones de probabilidad

Se utilizaron varias técnicas para ge-

La posibilidad de cambio en el precio del producto está representada por la variable *Precio unitario del producto* y se estimó que en el horizonte de tiempo considerado podía tener tres niveles: mantenerse constante, incrementarse en 10% o incrementarse en 20%. Las probabilidades asignadas se muestran en la Tabla 3.

La distribución de probabilidad de la *Demanda total* fue asignada por el más alto funcionario de ventas de la empresa. Se utilizaron

Incremento (%)	Precio (\$)	Probabilidad
No incremento (cero)	75.00	0.85
Incremento de 10%	82.50	0.09
Incremento de 20%	90.00	0.06

Tabla 3. Distribución de probabilidad para el *Precio unitario del producto*.

tres niveles: baja, normal y alta, definidos con base en la variabilidad de la industria refresquera en la región que atiende la empresa. La distribución de probabilidad de la *Demanda total* está condicionada por el nivel de *Precio unitario del producto*, éstas se muestran en la Tabla 4.

Demanda total	Precio unitario del producto		
	\$75.00	\$82.50	\$90.00
Baja (no mayor que -15%)	0.0833	0.3043	0.6000
Normal (-15% <VN< 15%)	0.7917	0.6522	0.4000
Alta (no menor que 15%)	0.1250	0.0435	0.0000

Tabla 4. Distribución de probabilidad para la *Demanda total* condicionada por el *Precio unitario del producto*

La variable que contribuye en mayor medida a la variabilidad de los resultados es la *Demanda materializada*. Para modelar esta importante variable se analizaron las ventas mensuales correspondientes a seis años. La gráfica correspondiente a estas ventas se presenta en la Figura 12.

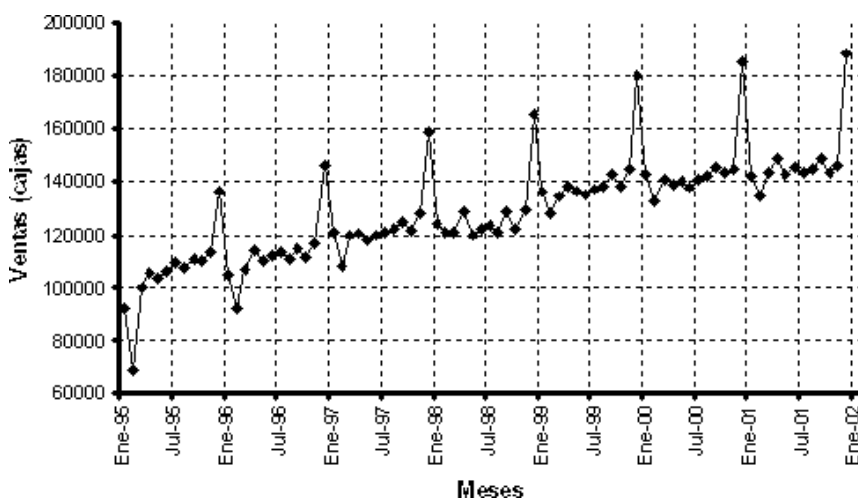


Figura 12. Ventas históricas mensuales para un periodo de seis años.

Debido a que esta variable está condicionada por la *Demanda total* y la *Efectividad del esfuerzo de ventas*,

fue muy importante encontrar una manera sencilla de asignar las probabilidades condicionadas. Esto se logró asignando una distribución de probabilidad normal a las ventas para cada combinación de sucesos de las dos variables condicionantes.

Los parámetros **base** (media y desviación estándar) de la distribución de probabilidad normal se infirieron estadísticamente de la serie de datos históricos. En la Tabla 5 se presentan los parámetros que definen a cada una de las distribuciones de probabilidad normal condicionadas.

Alternativas de producción

Las alternativas (niveles) de producción que estaban disponibles para este producto se diagraman en la Figura 13. Se tiene desde la alternativa A, cuyo valor es la cantidad en turnos completos más cercana con las ventas más bajas que haya tenido la empresa, hasta la alternativa N que es el correspondiente al total de turnos disponibles para la producción de la presentación dos litros no retornable de Superdrink. En total, se consideraron 14 alternativas, esto es, 14

Evaluación del modelo

Una vez que se asignaron las distribuciones de probabilidad para las cuatro variables, se utilizaron los datos de la Tabla 6 para evaluar el modelo. Para ello se utilizó el programa de cómputo DPL (Decision Programming Language).

La estructura de alternativas y eventos inciertos que corresponden al diagrama de influencia evaluado, se muestran en la Figura 13.

Los resultados en términos de utilidades (valor ponderado) para cada alternativa se presentan en la Figura 14. El nivel de producción correspondiente a la alternativa H es el que proporciona a la empresa la mayor utilidad ponderada, eso indica que es la mejor alternativa de producción.

La distribución de probabilidad de la mejor alternativa (la H), con utilidad ponderada de \$1,420,250 se muestra en la Figura 15. Esta distribución, también llamada *perfil de riesgo*, indica a la empresa los diferentes niveles de utilidad que pueden ocurrir y la probabilidad de que se alcance o supere cada uno de los niveles posibles.

Como puede observarse en las gráficas de las Figuras 15 y 16, la mejor alternativa no presenta riesgo de pérdidas, tiene una alta probabilidad de ganancias por arriba de un millón de pesos y, como se mostró en la Figura 14, su valor ponderado es superior al de las otras alternativas consideradas, por ende, el volumen de producción correspondiente a esa alternativa es el que se recomendó producir.

Conclusiones

El modelo de decisión para el volumen de producción cuando existe incertidumbre en la demanda, permite representar de manera más efectiva e informativa esta importante decisión. La modelación probabilística incluye no sólo la demanda del producto, sino también los factores que la afectan

niveles de producción. Por confiencialidad no se indican los niveles de producción.

Demanda materializada				
Efectividad del esfuerzo de ventas	Parámetros de distribución normal	Demanda total		
		Baja	Normal	Alta
86%	Media (cajas)	120,000	135,000	150,000
	Desv. estándar (cajas)	1,500	1,500	1,500
94%	Media (cajas)	127,500	142,500	157,500
	Desv. estándar (cajas)	1,500	1,500	1,500
100%	Media (cajas)	132,750	147,750	162,750
	Desv. estándar (cajas)	1,500	1,500	1,500

Tabla 5. Distribuciones de probabilidad normal para *Demanda materializada* condicionadas en la *Efectividad del esfuerzo de ventas* y la *Demanda total*.

Nodo determinístico	Valor
Creación de nuevas empresas	No=0
Nuevos productos competidores	No=0
Oferta total	Normal=100%
Percepción del consumidor	Normal=9
Poder adquisitivo de clientes potenciales	Normal=100%
Inventario inicial	18,000 cajas
Costo fijo	\$4,000,000
Costo unitario de producción	\$35
Costo unitario por llevar inventario	\$15
Costo unitario por faltante	\$25

Tabla 6. Datos para evaluar el diagrama de influencia en DPL.

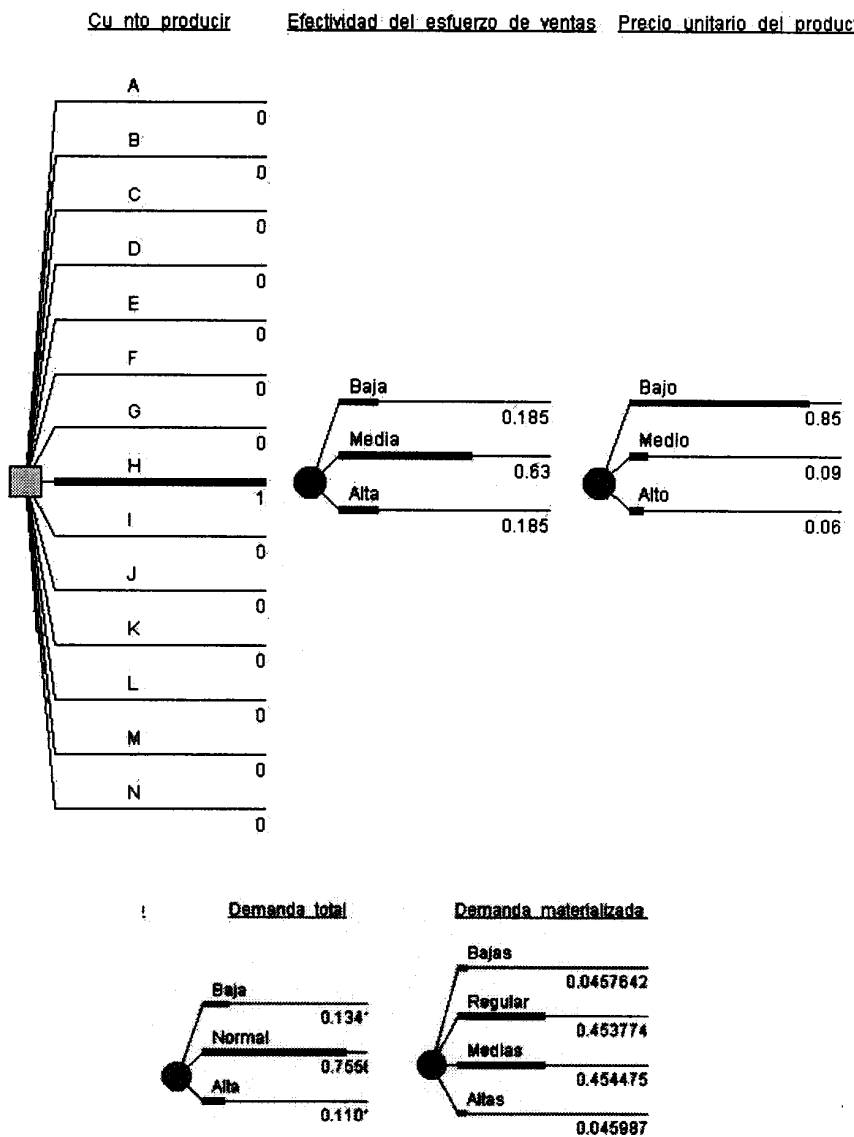


Figura 13. Probabilidades marginales para cada uno de los nodos inciertos y selección de la mejor alternativa.

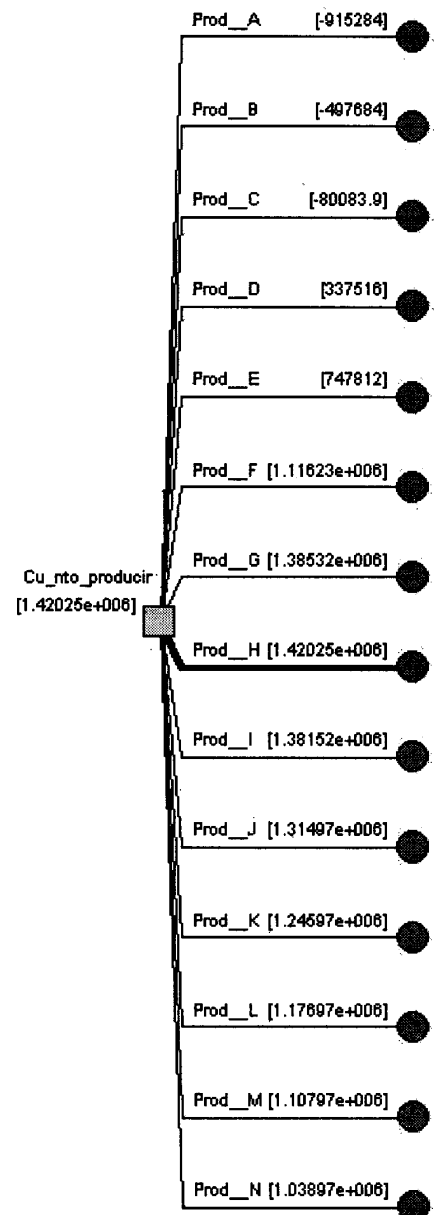


Figura 14. Utilidad ponderada (valor ponderado) para cada alternativa.

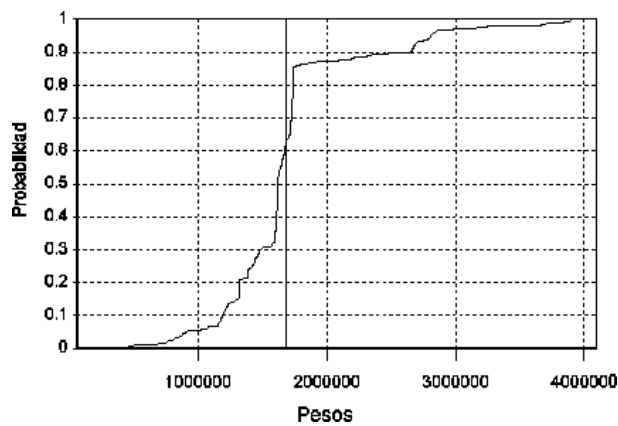


Figura 15. Distribución de probabilidad acumulada de utilidades con la elección de la mejor alternativa de producción.

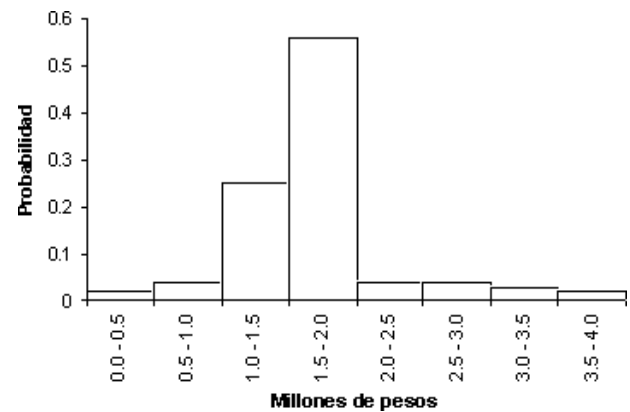


Figura 16. Histograma de la distribución de probabilidad de las utilidades con la elección de la mejor alternativa de producción.

como el *Precio unitario del producto*, la *Efectividad del esfuerzo de ventas*, la *Oferta y Demanda total*, entre otros factores.

La efectividad de este modelo radica en que hace un balance entre los costos por llevar inventario y los costos por tener faltante de productos y toma en consideración la incertidumbre en todos los aspectos que afectan la utilidad de la empresa en este tipo de decisión. El modelo permite seleccionar la alternativa con la mayor probabilidad de minimizar el costo por llevar inventario y el costo por faltante de productos. Además, es más informativo que los enfoques tradicionales porque proporciona una distribución de probabilidad de las

utilidades, en lugar de un estimado de un solo valor.

La estructura del modelo permite capturar información adicional a los datos históricos, obteniéndose de esa manera un pronóstico que refleja mejor el conocimiento que se tiene acerca del producto y del período para el que se está decidiendo el volumen de producción, de esta manera se genera una decisión más confiable. Aun si no se cuenta con datos históricos, puede obtenerse información de expertos y utilizarla en el modelo para la obtención de las distribuciones de probabilidad.

Desde luego, expresar el conocimiento sobre las variables inciertas mediante distribuciones de probabilidad

representa un esfuerzo adicional al de simplemente asignar un valor determinístico a cada variable, pero en muchos casos el esfuerzo puede estar ampliamente justificado. Por ejemplo, en la aplicación real que se presenta en este artículo las diferencias en ganancia ponderada entre alternativas es de muchos cientos de miles de pesos. Así pues, tomar buenas decisiones de volumen de producción puede ser muy redituable.

Adicionalmente, este modelo de decisión es muy flexible: puede utilizarse para decidir el nivel de producción de diferentes tipos de productos en empresas de diferentes tamaños en diferentes ramos industriales. 

Bibliografía

- ADA Advanced Decision System, *Decision Programming Language*, Duxbury Press, Belmont, California, Estados Unidos de América. 1995.
- Farnum, Nicholas R. y Laverne W. Stanton, *Quantitative Forecasting Methods*, PWS-KENT Publishing Company Boston, Estados Unidos de América. 1989.
- Hopeman, Richard J., *Administración de Producción y Operaciones*, CECSA, México. 1999.
- Ley Borrás, Roberto, "Enriquecimiento de Modelos de Ingeniería Industrial Usando Análisis de Decisiones", *UPIICSA*, Año VIII, No. 23, mayo-agosto 2000.
- Ley Borrás, Roberto, *Análisis de Incertidumbre y Riesgo para la Toma de Decisiones*, Comunidad Morelos, México. 2001.
- Makridakis, Spyros y Steven C. Wheelwright, *Manual de Técnicas de Pronósticos*, Limusa, México. 1994.
- Peterson, Willis L., *Principios de Economía: Macro*, CECSA, México. 1981.