Análisis de las Decisiones de Compra de Equipo Industrial: Un Modelo Reusable. Segunda Parte

*Armando García Muñoz**
*Roberto Ley Borrás***

Resumen

En esta segunda parte del trabajo se presenta la aplicación en una empresa del modelo reusable de decisión, descrito anteriormente en el número precedente de la revista. Se trata de una empresa productora de piloncillo que quiere aumentar su capacidad instalada adquiriendo una caldera en sustitución del horno utilizado hasta ahora. La mencionada adquisición estaba relacionada con unos factores entre los cuales destacan la no limitación de tiempo para tomar la decisión en virtud de que las operaciones podían continuar con el sistema de producción, el deseo de que el equipo fuera nuevo y que se adquiriera en propiedad, la necesidad de realizar un estudio técnico previo para la selección del equipo y que éste permitiera el incremento de la producción en el mediano plazo. Se presenta el modelo de adquisición de la caldera diseñado especialmente para el caso, en el que pueden verse las alternativas de cada nodo de decisión, concentrándose el impacto en el nodo de valor. Se concluye con una estrategia óptima para la adquisición de la caldera en la cual se establece el equipo y el proveedor a seleccionar, el transporte y la instalación y el medio de financiamiento más adecuado.

Introducción

En la introducción de la parte inicial de este trabajo se mencionaban las ocasiones en que una empresa debe enfrentar una decisión relacionada con la adquisición de equipo, ya sea, entre otras razones, para renovar el existente, mejorar los procesos, aumentar el volumen de la producción, reducir costos o mejorar la calidad del producto. También se recordaba que evaluar riesgos no es una tarea fácil por los numerosos factores que contribuyen a la incertidumbre en la estimación del monto y fecha de los flujos de efectivo. En el momento de tomar la decisión existe un riesgo asociado con la inversión que se refiere a el desconocimiento de los flujos de efectivo necesarios al inicio y de los flujos que en futuro surgirán en virtud del aprovechamiento de los equipos.

A continuación se presenta una aplicación del modelo reusable de decisión para la adquisición del equipo en las empresas industriales. La empresa donde se aplicó, que se denominará El Piloncillo, tenía la necesidad de adquirir una caldera, cuya inversión inicial representaba una erogación grande para la empresa y era, por tanto, una decisión importante. La información que se recabó para generar el modelo particular de decisión, la forma en que se cuantificaron cada uno de los elementos, y los resultados obtenidos del análisis, dieron en un primer momento la certeza de que se trataba de un caso de la familia de situaciones de decisión que encajaban perfectamente en los supuestos para los cuales se creó el modelo reusable para la adquisición de equipo.

En la empresa en cuestión el problema fue presentado bajo diferentes factores entre los cuales pueden mencionarse la no limitación de tiempo para la adquisición del equipo representado por la caldera con la cual se pretendía sustituir el sistema de hornos existente; sin embargo, el decisor consideró como lo más conveniente que dicha adquisición se hiciera en el corto plazo en virtud de que la demanda estaba pasando por un incremento importante y era necesario atenderla con prontitud. Por otro lado, el equipo debía ser nuevo y la posesión debía obtenerse bajo la figura de la propiedad plena y en una compra de contado. Se esperaba, además, un incremento de la oferta que alcanzase el 50% de la producción anterior y que el equipo pudiese ser adquirido en el mercado nacional para garantizar mantenimiento, servicios y refacciones

Se diseñó un modelo particular de decisión para la adquisición de la caldera en el cual los nodos de decisión del modelo reusable utilizaron una serie de estrategias como alternativas consideradas factibles en el proceso iniciado para llevar a cabo con éxito la adquisición y la sustitución del equipo. En cuanto a la capacidad de la caldera se analizó su suficiencia y el tipo y modelo existentes. Esta

*Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial con concentración en Análisis de Decisiones por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Especialista de la Unidad de Planeación y Evaluación en la Subdirección de la Coordinación de Servicios Marinos de PEMEX. Correo electrónico: agamu@hotmail.com
**Doctor en Ingeniería de Sistemas Económicos por la Stanford University, Cal., EUA. Consultor en Decisiones. Correo electrónico: rley@prodigy.net.mx

información se complementó con las características del proveedor, las condiciones de transporte, de seguro y de instalación para, por último, estudiar las estrategias de financiamiento que incluyeron el destino del equipo reemplazado.

1. Aplicación del modelo reusable de decisión

En esta sección se presenta una aplicación del modelo reusable de decisión para la adquisición de equipo en las empresas industriales. La empresa donde se aplicó, que se denominará El Piloncillo, tenía la necesidad de adquirir una caldera, cuya inversión inicial representaba una erogación grande para la empresa, y es por tanto, una decisión importante. En esta sección se presenta la información que se recabó para generar el modelo particular de decisión, la forma en que se cuantificaron cada uno de los elementos, y los resultados obtenidos del análisis.

Descripción de la situación de decisión

La empresa El Piloncillo se dedica a la producción de piloncillo, producto derivado del cocimiento de las mieles de la caña de azúcar, comercializado en pequeñas piezas cilíndricas uniformes, de unos 200 gramos, que es utilizado tradicionalmente como sustituto de el azúcar refinada para endulzar y dar un sabor característico a los alimentos.

Un objetivo inmediato de esta empresa es mejorar su sistema productivo para aumentar sus utilidades. Un medio para alcanzar este objetivo es el aumento de la capacidad instalada, requiriéndose para esto de la inversión en una caldera que sustituya al actual horno. A la fecha, y con el nivel de demanda actualmente cubierto, ambas fuentes caloríficas son capaces de proporcionar el calor necesario para el cocimiento de las mieles de caña, etapa principal del proceso de producción, y cada una posee ventajas y desventajas, que deben ser tomadas en cuenta para tomar una buena decisión. La principal razón para pensar en la adquisición de una caldera, es que con ella se podría reducir el tiempo actual de cocimiento de las mieles de caña y se podrían realizar una o más moliendas adicionales. Esto permitirá a la empresa cubrir la demanda insatisfecha que se tiene en su mercado.

La aplicación del modelo reusable para la adquisición de equipo a la situación de decisión de El Piloncillo permitirá evaluar económicamente cada alternativa de adquisición de equipo de una manera más completa (con respecto a la evaluación económica tradicional), y así determinar cuál de ellas es la mejor, tomando como indicador de rentabilidad la utilidad monetaria esperada.

Validación de la situación particular

Se consideró que la necesidad de adquisición de equipo que presentaba la empresa El Piloncillo era un caso claro de la *familia de situaciones de decisión* para la cual fue creado el Modelo Reusable para la Adquisición de Equipo, por lo que era justificable la aplicación del modelo. Se procedió entonces a la búsqueda de información que se requería para aplicar correctamente el metamodelo de decisión respectivo, el cual señalaría cuales de los nodos del modelo maestro debían considerarse activos para este caso particular de decisión.

A continuación se listan los factores identificados en la situación de adquisición de equipo de la empresa El Piloncillo que fueron útiles para la aplicación del metamodelo de decisión.

- La adquisición de la caldera no tenía limitaciones de tiempo, debido a que las operaciones de la empresa podían continuar con el sistema actual de producción. Aún así, el decisor consideró deseable que el cambio de horno a caldera fuera en el corto plazo para así aprovechar la demanda potencial que la empresa tiene en la actualidad.
- Se desea que el equipo sea nuevo y propio.
- Por falta de experiencia en el caso, la empresa requería de un estudio técnico para seleccionar el tipo y capacidad del equipo.
- Se le da mantenimiento periódico básico a todos los equipos de la empresa. Se desea hacer la compra del equipo de contado.
- Las áreas de trabajo de la empresa se consideraron de bajo nivel de riesgo (por no existir ambientes explosivos, transporte de sustancias peligrosas, u operación de equipos peligrosos). La adición de la caldera al sistema productivo de la empresa incrementa el nivel de riesgo; el nivel depende de las características operativas de la caldera adquirida (por ejemplo, del tipo de combustible utilizado por el equipo).
- El dueño considera que puede colocar fácilmente un 50% más de productos en el mercado, y que esta cantidad se puede incrementar en el mediano plazo.
- Debido a que el equipo requerido está disponible en el mercado nacional y con proveedores nacionales, el dueño desea realizar la adquisición con un proveedor nacional (para tener mayor seguridad de contar en el futuro con refacciones, y servicio técnico).
- El decisor considera tener una seguridad de mercado para la colocación de sus productos, porque puede ofrecer en su región de influencia precios más bajos que la competencia.

Generación del modelo particular de decisión

Una vez que se identificaron los factores que determinarían las alternativas de adquisición y las principales variables inciertas

que afectarían las ganancias de la empresa, considerando la incorporación del nuevo equipo sujeto de adquisición, se procedió a la aplicación del metamodelo de decisión del modelo reusable para la adquisición de equipo, buscando con ello particularizar al modelo maestro de decisión a este caso de adquisición de equipo.

Siguiendo las instrucciones del metamodelo, quedaron identificados aquellos nodos del modelo maestro de decisión que debían incluirse en el modelo particular de decisión de El Piloncillo.

Los elementos incluidos en el modelo particular son los siguientes:

Decisiones

- Fecha proyectada de adquisición
- Capacidad del equipo
- Tipo de equipo
- Proveedor
- Transporte
- Cobertura de seguro
- Aseguradora
- Instalación
- Destino del equipo reemplazado
- Método de depreciación

Nodos probabilísticos

- Accesibilidad de insumos y refacciones
- Mantenimiento del equipo
- Precio de venta del servicio
- Demanda del servicio

Nodos de valor

- Costos de operación
- Ingresos totales
- Impactos por intangibles
- Costos de seguridad
- Costos de mejora ambiental
- Resultados finales

Nodos de decisión

- Características del equipo y proveedor
- Importación, transporte e instalación
- Financiamiento

El modelo particular de decisión para la empresa El Piloncillo se muestra en la Figura 1.

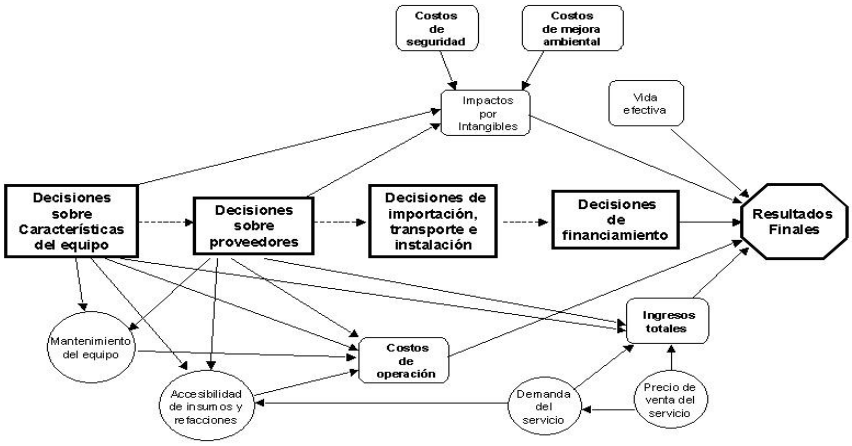

Figura 1. Modelo particular de decisión para la adquisición de una caldera.

Es importante hacer notar que la tarea de desarrollar este modelo particular a partir del modelo maestro requirió de sólo dos horas de tiempo del analista. Esto representa una reducción de más del 90% de lo que hubiera tomado construir un modelo desde el principio.

Generación de las alternativas para los nodos de decisión del modelo particular de decisión

Los nodos de decisión del modelo reusable utilizan como alternativas un conjunto de estrategias generadas con el uso de cuatro tablas de generación de estrategias.

En el caso de adquisición de equipo de la empresa El Piloncillo, se consideraron activos los cuatro nodos de decisión del modelo maestro de decisión.

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se detallan las alternativas de cada nodo de decisión que la empresa El Piloncillo consideró como factibles para atender este caso de adquisición de equipo, y que se incorporaron como elementos de las tablas de generación de estrategias del modelo particular de decisión para la adquisición de una caldera; además se señalan las estrategias a considerar (con líneas de diferente trazo).

Definición del nodo de valor

En el nodo de valor del modelo de decisión se concentra el impacto de todos los nodos del modelo. En él se ha insertado una fórmula que, en forma generalizada, responde a la estructura básica para el cálculo de la utilidad monetaria. La ecuación para la utilidad es:

*U = Ingresos por adquisición+Valor de Rescate-Σcostos–Impactos por intangibles–Inversión Inicial–((Ingresos por adquisición+Valor de Rescate-Σcostos –Depreciación)*Impuesto)*

Para identificar aquellas variables inciertas del modelo particular de adquisición que representaban al menos el 90% de la incertidumbre de la situación de decisión, se procedió a la adquisición de información de los nodos del modelo particular. Se determinaron para cada alternativa de adquisición de equipo los montos (en pesos) de cada uno de los rubros siguientes: la depreciación en línea recta, de deducción inmediata, la inversión inicial, los gastos de venta y administración, los ingresos distintos de la venta de piloncillo (valor económico del bagazo de caña que ya no se utilizaría como combustible), el valor de rescate del equipo anterior, los costos del proceso, así como los costos intangibles de seguridad y mejora ambiental. Esta información es la requerida para efectuar la evaluación económica de alternativas de adquisición de equipo.

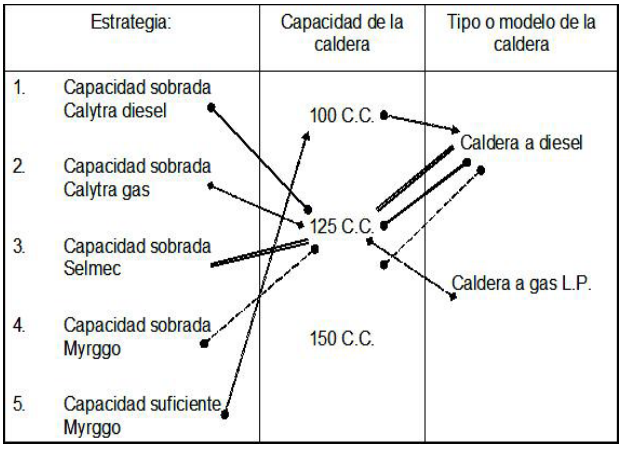

Figura 2. Tabla de estrategias *Decisiones de características del equipo*.

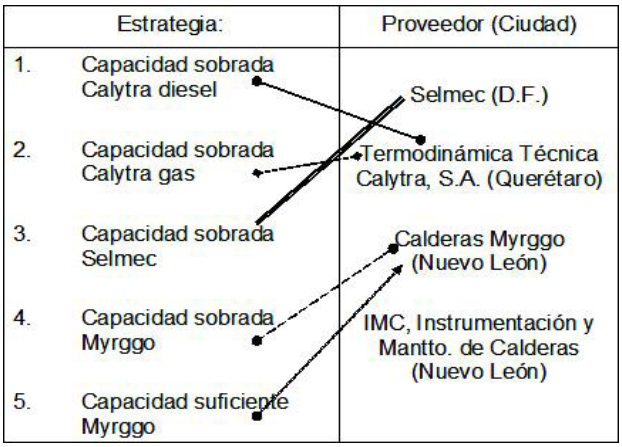

Figura 3. Tabla de estrategias *Decisiones sobre proveedores*.

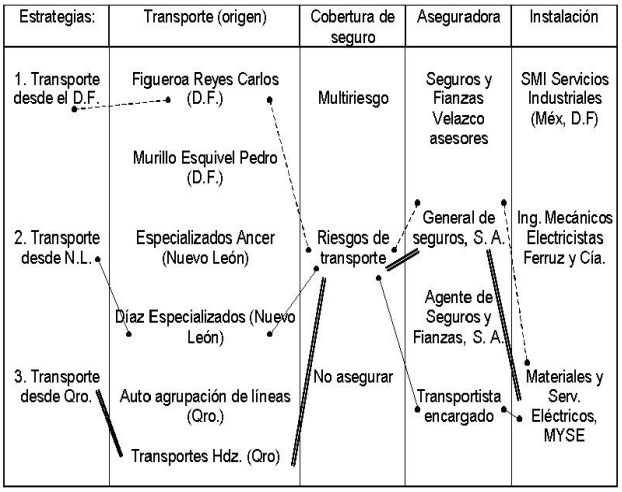

Figura 4. Tabla de estrategias *Decisiones sobre importación, transporte e instalación.*

Figura 5. Tabla de estrategias *Decisiones de financiamiento*.

Así también se determinó el rango de valores de las variables inciertas del modelo particular. Esto se hizo determinando tres puntos (alto, normal y bajo) de dichas variables. La Figura 6 presenta un ejemplo de dichas cantidades, para una de las alternativas de adquisición.

Nodo probabilístico	*Nivel alto*	*Nivel normal*	*Nivel bajo*
Costos de Mantenimiento, ($)	392 766.00	137 467.00	117 828.00
Costos de Insumos, ($)	6 098 142.00	5 530 998.00	4 961 746.00
Demanda cubierta, (cajas por año)	11 000	9 360	6 600
Precio unitario, ($ por caja)	149.04	123.12	97.199

Figura 6. Información de los nodos del modelo particular de la empresa El Piloncillo para la alternativa *Capacidad sobrada, Calytra diesel*.

En la Figura 7 se muestra la gráfica del análisis de sensibilidad determinística o diagrama de tornado (Howard 1988).

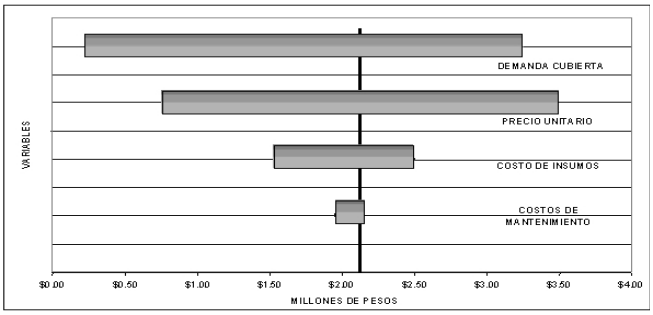

Figura 7. Diagrama de tornado para identificar a las variables probabilísticas de mayor impacto en las utilidades de la empresa.

El diagrama de tornado muestra, por la longitud de las barras horizontales, que la Demanda cubierta y el Precio unitario del producto (piloncillo) son las variables inciertas con potencialmente mayor impacto en los resultados de la decisión (53 y 42 por ciento del total de incertidumbre de la situación de decisión, respectivamente). Por lo tanto se justifica un análisis probabilístico detallado de ellas. De menor impacto es la variable Costos de Insumos (5 por ciento de la incertidumbre total), y en último lugar se encontró a la variable incierta Costos de mantenimiento, cuyo impacto es razonablemente despreciable (0.2 por ciento de la incertidumbre total), por lo que dichas variables asumieron el valor central calculado en la etapa de análisis de sensibilidad.

En la Figura 8 se muestra la distribución de probabilidad obtenida para la variable incierta Precio unitario del producto.

Posteriormente, se procedió a la discretización de dicha distribución acumulada, utilizando la Aproximación Extendida de Pearson-Tukey (Ley Borrás 2001).

Percentil	*Precio por piloncillo*	*Probabilidad*
05	3.20	0.185
50	3.92	0.630
95	4.40	0.185

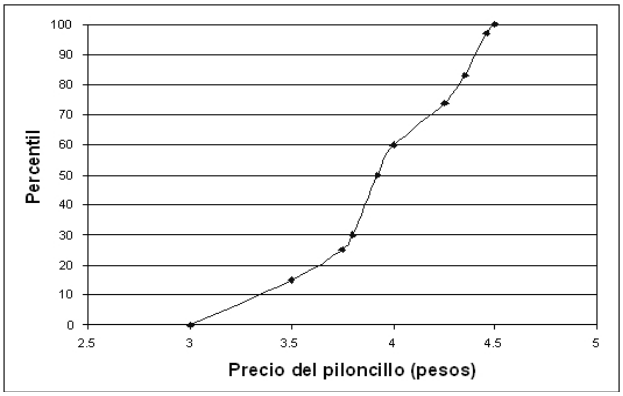

Figura 8. Distribución de probabilidad acumulada del precio promedio del piloncillo.

Similarmente se generaron distribuciones de probabilidad para la demanda promedio de piloncillo, condicionada en los tres diferentes niveles de precio.

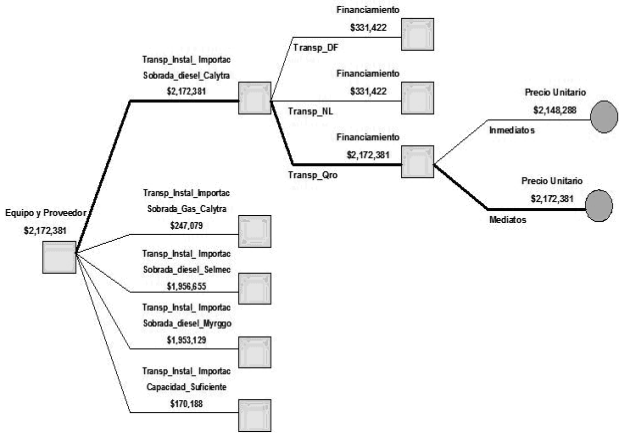

Figura 9. Resultados de la evaluación del modelo particular (cifras en pesos).

Los datos y distribuciones de probabilidad se incluyeron en el modelo particular utilizando el programa DPL (*Decision Programming Language*) y se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 9.

De la Figura 9 se concluye que la estrategia óptima a seguir para la adquisición de la caldera es:

- Equipo y Proveedor: **Sobrada diesel Calydra**,
- Transportes, Instalación e Importación: **Transportes Querétaro**,
- Financiamiento: **Ingresos mediatos**

La cual, si observamos las estrategias (alternativas de los nodos de decisión del modelo particular de decisión para la adquisición de equipo) generadas con las tablas de estrategias del modelo reusable mostradas en las Figuras 8, 9 y 10, vemos que dicha estrategia de adquisición óptima consiste en las siguientes alternativas:

- Fecha proyectada de adquisición: Febrero – Abril
- Capacidad de la caldera: 125 CC
- Tipo de caldera: Caldera a diesel
- Proveedor: Termodinámica Técnica Calydra, S.A. (ubicada en Querétaro)
- Transporte (Flete del equipo): Transportes Hernández (ubicado en Querétaro)
- Cobertura de seguro: Riesgos de transporte
- Aseguradora: General de Seguros, S.A.
- Instalación del equipo: Materiales y Servicios Eléctricos S.A.
- Destino del equipo reemplazado (horno): Venta
- Método de depreciación (de la inversión): Método de Línea Recta.

Esta estrategia tiene un valor ponderado de 2,172,381 pesos.

La Figura 10 presenta la distribución de probabilidad acumulada de la utilidad al elegir la estrategia de adquisición óptima. En ella se expresan las expectativas de la empresa El Piloncillo al adquirir la caldera señalada como la mejor alternativa de adquisición. La probabilidad de tener pérdidas (de hasta 964,000 pesos) es de sólo 3%, y por tanto, la probabilidad de tener ganancias (hasta de 5,347,000 pesos) es de 97%.

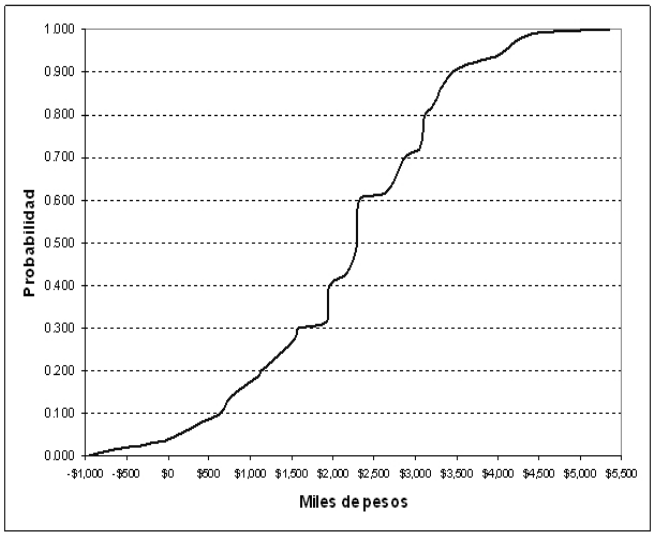

Figura 10. Distribución acumulada de la utilidad si se decide invertir en la alternativa de adquisición recomendada por el análisis.

Conclusiones

La adquisición de equipo industrial es una de las decisiones que recurrentemente enfrentan las empresas. Ésta es una decisión importante tanto por el nivel de los desembolsos económicos que requiere, como por el efecto que la adquisición puede tener en los costos de operación de la empresa, en su eficiencia y en su competitividad.

Al analizar cuidadosamente las implicaciones de la adquisición de equipo se observa que la empresa necesita decidir sobre la tecnología a utilizar, la capacidad del equipo, el proveedor, el financiamiento, el transporte, los seguros y la instalación, entre otros aspectos. Además,

estas decisiones deben tomar en cuenta la incertidumbre sobre el tiempo de entrega, rendimiento y nivel de ocupación del equipo, costos de operación y costos de mantenimiento, entre otros factores que pueden afectar los beneficios netos que la empresa reciba de su inversión.

Este tipo de decisiones puede abordarse de manera efectiva utilizando análisis de decisiones. Los modelos de decisión y la aplicación de los conceptos y técnicas de esta disciplina permiten integrar todos los elementos de la decisión y guían a la empresa en la selección del mejor curso de acción.

Para hacer más eficiente el análisis de estas decisiones se puede utilizar el enfoque de modelos reusables de decisión Un modelo reusable de decisión consta de un modelo maestro (un diagrama de influencia) que incluye las decisiones e incertidumbres características de esta familia de situaciones, y de un metamodelo (un diagrama de flujo) que permite generar un modelo particular para la situación que se enfrente. La utilización del modelo reusable disminuye considerablemente el tiempo y el costo del análisis de decisiones enfocado a esta problemática.

El Modelo Reusable para la Adquisición de Equipo Industrial presentado en este artículo está constituido por un conjunto razonablemente completo de elementos importantes que se presentan en un proceso de adquisición de equipo en las empresas industriales.

El ejemplo de aplicación reportado (la adquisición de una caldera industrial) muestra que el modelo reusable constituye una ayuda al analista de decisiones en la tarea de generación de modelos particulares de decisión que reflejen la situación de adquisición de equipo en las empresas industriales.

La facilidad de uso del modelo presentado permite al analista de decisiones y a sus clientes beneficiarse eficientemente del conocimiento embebido en el modelo reusable.

Bibliografía

Clemen, Robert, *Making Hard Decisions*, 2ª. ed., Duxbury Press, EUA, 1996.

Howard, Ronald A. & James E. Matheson (1981) "Influence Diagrams" en Howard, R. A. y J. E. Matheson (eds.) *The Principles and Applications of Decision Analysis*. Strategic Decisions Group, Palo Alto, California, 1983.

Howard, Ronald A., "Decision Analysis: Practice and Promise", *Management Science*, Vol. 34 No. 6, 1988.

Howard, Ronald A., "Decision Analysis", Manuscrito, Universidad Stanford, California, 1992.

Ley Borrás, Roberto, "Representación del Conocimiento en Análisis de Decisiones", *Revista UPIICSA Tecnología Ciencia y Cultura*, IPN, vol. 2, Núm. 9, 1996, pp. 2-8.

Ley Borrás, Roberto, "Principios para el Desarrollo de Modelos Reusables de Decisión", *Revista UPIICSA Tecnología Ciencia y Cultura*, IPN, vol. 2, Núm. 16, 1998, pp. 10-14.

Ley Borrás, Roberto, "El Poder de Generalización de los Modelos Reusables de Decisión", Investigación Administrativa, Vol. 29 Núm. 87, 2000, pp. 1-14.

Salvendy, Gavriel, *Manual de Ingeniería Industrial*, Vol. II, Editorial Limusa, México. 1991.