

# Enriquecimiento de Modelos de Ingeniería Industrial Usando Análisis de Decisiones

por

**Dr. Roberto Ley Borrás**

Instituto Tecnológico de Orizaba

Publicado en Revista UPIICSA (IPN) núm. 23, may-ags 2000, pp. 12-19. México D.F.

## Resumen

Muchas de las técnicas de ingeniería industrial son modelos cuantitativos que están basados en supuestos que simplifican la realidad para obtener una representación más fácil de entender y de usar. Aunque es innegable la utilidad de esos modelos, debemos estar conscientes de que sus limitaciones son un impedimento para su uso en situaciones más complejas. Esta complejidad adicional puede presentarse en la forma de incertidumbre en los parámetros, aspectos cualitativos no cuantificables, oportunidades de obtención de información, e influencias relevantes externas al modelo, entre otros.

Para poder abordar varios tipos de situaciones complejas, se propone aprovechar la capacidad de modelación del análisis de decisiones para enriquecer técnicas ya establecidos de ingeniería industrial. El enfoque propuesto aprovecha la capacidad del análisis de decisiones para modelar incertidumbre, preferencias y relaciones complejas entre las partes del problema.

En este artículo se tipifican y describen limitaciones de las técnicas de ingeniería industrial superables usando análisis de decisiones, se presenta una estrategia general para superar esas limitaciones, se describe el enriquecimiento de dos técnicas, y se indica un conjunto de aplicaciones potenciales. Los conceptos y la estrategia presentados son aplicables no sólo a técnicas de ingeniería industrial sino a modelos cuantitativos en general.

## 1. Modelos cuantitativos en ingeniería industrial

Muchas de las técnicas modernas de ingeniería industrial son modelos matemáticos que representan la parte del proceso productivo o de negocios que deseamos mejorar. Generalmente estos modelos están basados en supuestos que simplifican la realidad (lo que es intrínseco a todo proceso de modelación) para obtener una representación que sea más fácil de entender y usar. Ejemplos comunes de estas simplificaciones son suponer valores determinísticos en parámetros de entrada y salida, y suponer funciones objetivo restringidas y lineales.

Aunque la simplicidad de los modelos es un atributo valioso y los modelos simplificados son adecuados en muchas de las situaciones reales, estos modelos pueden no ser adecuados en situaciones más complejas. Algunas de estas situaciones más complejas pueden incluir incertidumbre en los parámetros que puede alterar el valor de las alternativas, aspectos cualitativos importantes pero no cuantificables por métodos tradicionales, oportunidades de adquisición de información, y aspectos relevantes externos al modelo (aspectos no incluidos en el modelo pero que afectan la optimalidad de las soluciones).

Para abordar situaciones más complejas, el analista tiene la opción de elaborar modelos generales que incluyan modificaciones estructurales que correspondan a las características del problema real que enfrentamos. Estas modificaciones pueden consistir en el uso de funciones no lineales, en el desarrollo de modelos probabilísticos o dinámicos, y en la inclusión de variables adicionales. Sin embargo, desarrollar modelos generales para situaciones más

complejas requiere usualmente una gran cantidad de tiempo y esfuerzo. Por lo tanto, construir ese tipo de modelos puede ser impráctico en términos de tiempo o costo.

La alternativa propuesta en este artículo es desarrollar, en cada situación, un modelo de decisión que aborde el problema complejo particular, haciendo del modelo o técnica de ingeniería industrial un componente del modelo de decisiones. Los modelos de decisión son particularmente útiles para ampliar el ámbito de aplicabilidad de técnicas de ingeniería industrial cuyas limitaciones están relacionadas con el manejo de la incertidumbre, las preferencias y el enmarcamiento del problema.

Pueden consultarse conceptos y técnicas de análisis de decisiones en (Clemen 1996), (Ley Borrás 1996, 1998b), (Howard 1988) y (McNamee y Celona 1989).

## **2. Cinco tipos de limitaciones superables con análisis de decisiones**

Los modelos cuantitativos más susceptibles de ser enriquecidos con conceptos de análisis de decisiones son aquellos que tienen una o más de las siguientes características:

- I. Modelos en los que se ha asumido certeza en uno o varios de los parámetros que son, sin embargo, significativamente inciertos en el problema que estamos analizando.
- II. Modelos en los que se genera un resultado determinístico cuando dicho resultado se utilizará en decisiones de mayor nivel que, por su naturaleza, requieren información probabilística.
- III. Modelos que asumen una función de ganancias o pérdidas lineales sin considerar la posibilidad de funciones de preferencias no lineales. En particular, modelos que no toman en cuenta la aversión al riesgo que presenta la mayoría de los decisores cuando están en juego cantidades importantes de recursos.
- IV. Modelos de situaciones en las que es posible adquirir información adicional (y donde la relevancia de dicha información es lo suficientemente grande para cambiar la decisión) pero dicha adquisición no es contemplada por el modelo.
- V. Modelos que implican un enmarcamiento muy limitado del problema. Situaciones en las que la solución del problema "técnico" no resolvería el verdadero problema porque éste pertenece a un ámbito mayor y el problema técnico es sólo un subconjunto de él.

Cada una de estas limitaciones puede superarse enmarcando el problema y el modelo cuantitativo como una situación de decisión. Es importante señalar, como lo ilustra la Figura 1, que la limitación surge de la combinación de las características del modelo y del problema. No es una limitación intrínseca del modelo dado que éste es adecuado a problemas con otras características. Con la estrategia que se presenta a continuación es posible ampliar el ámbito de aplicabilidad del modelo.

	<b>Problema real tradicional</b>	<b>Problema real más complejo</b>
<b>Se necesita una solución particular</b>	Modelo tradicional si la situación es repetitiva. Modelo de decisión si la situación tiene aspectos únicos	<u>Modelo de decisión con el modelo cuantitativo como componente.</u>
<b>Se necesita una solución general</b>	Modelo cuantitativo tradicional.	Modelo especializado más complejo.

**Figura 1. Uso de modelos cuantitativos tradicionales y modelos de decisión**

### **3. Estrategia para superar las limitaciones**

Para enriquecer un modelo cuantitativo de manera que se pueda utilizar en una situación más compleja, se recomienda recorrer las siguientes etapas:

#### **A. Conocer la capacidad de representación de los modelos de decisión**

Se debe saber cuales aspectos de una situación real pueden representarse mejor con árboles de decisión, diagramas de influencia, mapas de conocimiento, análisis de sensibilidad, estructuración de objetivos, y otras técnicas de análisis de decisiones.

#### **B. Conocer las características estructurales del modelo cuantitativo que nos interesa**

Se deben entender los supuestos en los que está basado el modelo establecido de ingeniería industrial, así como las interacciones entre esos supuestos. Esto nos permite conocer las limitaciones de representación intrínsecas del modelo.

#### **C. Conocer la situación real que se enfrenta**

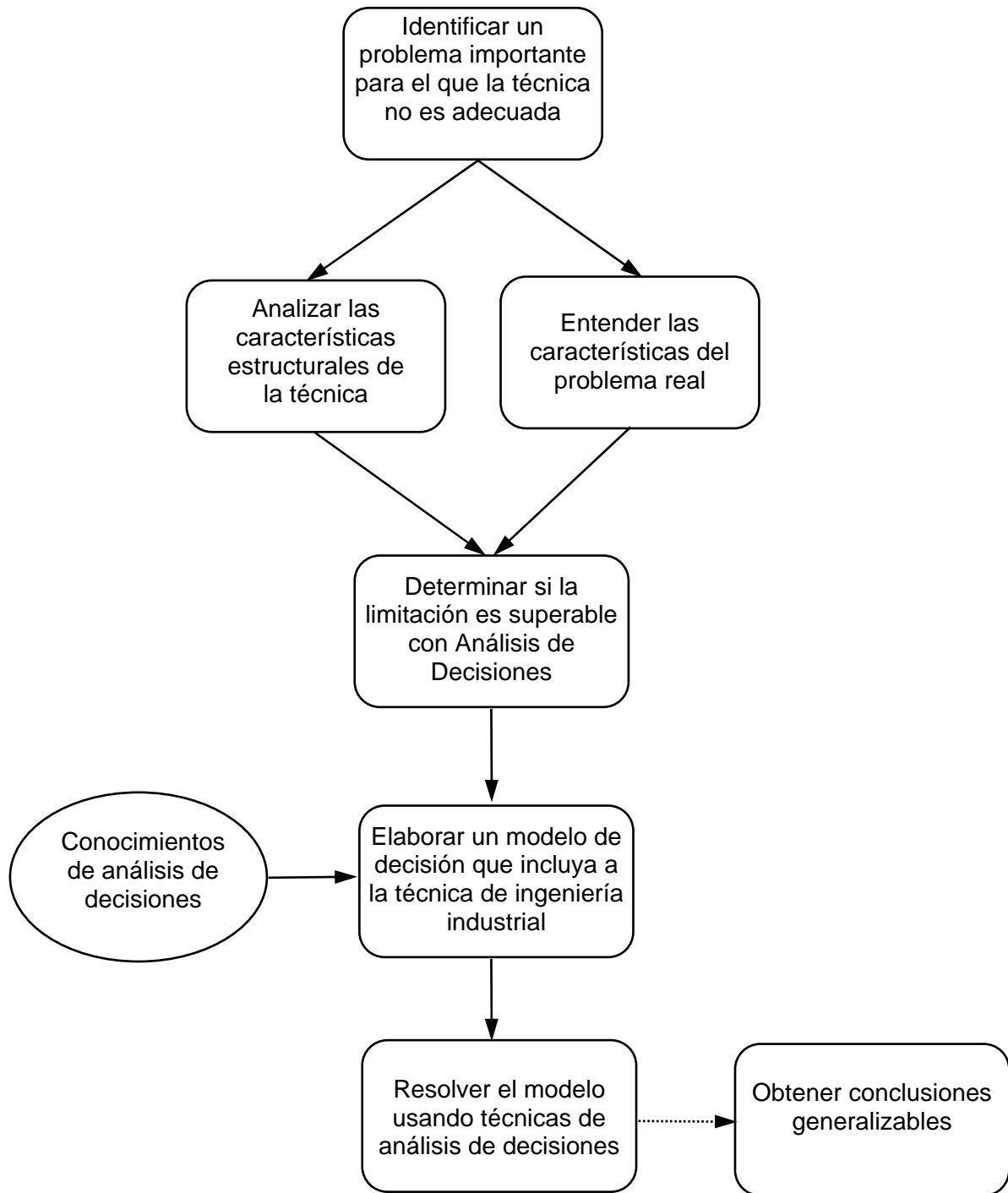
Es necesario conocer a fondo las características del problema que se desea resolver (o la oportunidad que se desea aprovechar) para determinar 1) si el modelo cuantitativo es adecuado en general pero tiene alguna limitante, y 2) si la limitante es del tipo de las señaladas en la sección anterior. Si se cumplen estas dos condiciones, se puede pasar a la siguiente etapa.

#### **D. Elaborar un modelo de decisión**

Se requiere replantear el problema como una situación de decisión en la cual el modelo cuantitativo de ingeniería industrial representa una parte de la descripción. Los aspectos de la realidad no incluidos en el modelo tradicional, se representan con elementos de modelación de decisiones (eventos inciertos, alternativas externas, preferencias sobre aspectos cualitativos, entre otros).

#### **E. Resolver el modelo ampliado**

En la solución del nuevo modelo se utilizan las técnicas y conceptos de análisis de decisiones. Esta solución corresponderá al problema real particular que la técnica tradicional no resuelve adecuadamente.



**Figura 2. Estrategia general para ampliar el ámbito de aplicabilidad de una técnica de ingeniería industrial**

## **F. Obtener conclusiones generalizables**

Aunque el problema original fue resuelto en la etapa anterior, puede existir un beneficio aún mayor en esta etapa. Al aplicar conceptos de análisis de decisiones como la prueba de claridad, la identificación de relevancia entre variables, el valor de la información y el análisis de sensibilidad, es posible llegar a conclusiones (respuestas) que se apliquen no sólo al problema particular sino a una familia de situaciones con rasgos comunes. La comprensión de la naturaleza del problema y de las soluciones encontradas puede dar origen a nuevas técnicas de solución de problemas.

Este proceso está representado gráficamente en la Figura 2.

A continuación se presentan algunos ejemplos de circunstancias en las que una técnica de ingeniería industrial puede enriquecerse para representar mejor una situación real.

## **4. Tipificación de las limitaciones de los modelos**

En esta sección se amplía la descripción de los cinco casos de limitaciones en la capacidad de modelación señaladas en la Sección 2.

### **Caso I: Supuesto de certeza en los parámetros del modelo.**

Los modelos que tienen esta limitación son muy frecuentes dado que es común que en las técnicas se asuma (frecuentemente en forma implícita) que los parámetros son conocidos con certeza. Por ejemplo, los costos, ingresos, demanda, tiempos de proceso o secuencia de operaciones, son asumidos como ciertos (y constantes) en muchos modelos. Este supuesto de certeza es razonable cuando tenemos información confiable sobre esos parámetros, o cuando la variación esperada del valor del parámetro tiene un impacto pequeño en los resultados que nos interesan. Cuando éste no es el caso, se presenta la dificultad de decidir qué valor, de un rango de posibilidades, debe usarse en el modelo.

Tener incertidumbre en los parámetros es común cuando se requiere elaborar modelos para sistemas o productos nuevos sobre los que no se ha tenido la oportunidad de acumular experiencia o conocimiento sobre costos, duración, tiempo de proceso, etcétera. Algunos analistas pueden optar por usar el valor más probable del parámetro para alimentar el modelo, pero al hacer eso estarían dejando de considerar la posibilidad de que el parámetro tenga un valor menos favorable y pueden tener desagradables sorpresas. Al mismo tiempo dejan de considerar el valor más favorable, para hablar sólo de los extremos, y el potencial que puede tener los correspondientes resultados para la empresa. Usar sólo el valor más probable oculta información que puede ser clave para el éxito de la empresa.

Otros analistas pueden estar muy conscientes de los riesgos de que el valor real del parámetro tenga consecuencias desfavorables y, como "medida de protección", pueden utilizar el valor más desfavorable para realizar los cálculos del modelo. El riesgo de este enfoque es que casi seguramente esa elección conducirá a mayores costos o menos eficiencia del sistema; se estaría pagando con dinero o eficiencia un riesgo que no se ha medido.

El planteamiento del problema usando análisis de decisiones permite la medición de la incertidumbre del o los parámetros, la evaluación del impacto de la incertidumbre en los resultados, y la elección de la alternativa que mejor satisfaga los objetivos de la empresa. Si se toman riesgos, estos son calculados; si se paga por evitar los riesgos, se sabe que se pagó menos que el costo de tomar los riesgos.

**Caso II: Generación de resultados determinísticos.**

Existen modelos cuantitativos de ingeniería industrial que aunque incluyen algún o algunos parámetros inciertos en su formulación, proporcionan una recomendación o un resultado determinístico. Este tipo de resultado funciona bien en los casos en los que la incertidumbre que se oculta en el resultado determinístico no tiene un efecto de consideración en la decisión que se toma y los resultados que se obtienen. Sin embargo, en otros casos el uso de un resultado determinístico puede ser insatisfactorio. Entre esos casos están los siguientes:

- a. Existe un nivel de incertidumbre considerable que abarca resultados que pueden alterar la optimalidad o conveniencia de la decisión. Al no expresar probabilísticamente el rango de resultados se ocultan las implicaciones de las posibles variaciones.
- b. La existencia de incertidumbre tiene un efecto en la percepción de los resultados por el decisor. Por ejemplo, la existencia de incertidumbre puede hacer necesario que, para modelar adecuadamente el problema, deba incluirse la actitud al riesgo del decisor; este factor puede incluirse en un modelo de análisis de decisiones.
- c. Los resultados de la aplicación de la técnica serán usados como parte de una decisión de mayor nivel. En este caso la falta de una medición de la incertidumbre de los resultados limita su uso en un modelo de decisión y transmite al decisor de mayor nivel una infundada sensación de certeza.

El uso de un modelo de decisión en el que la incertidumbre de las variables se exprese en una distribución de probabilidad de los resultados permite superar esas limitaciones. Existe una variedad de técnicas y conceptos de análisis de decisiones que permiten generar distribuciones de probabilidad que midan la incertidumbre.

**Caso III: Funciones de utilidad lineales.**

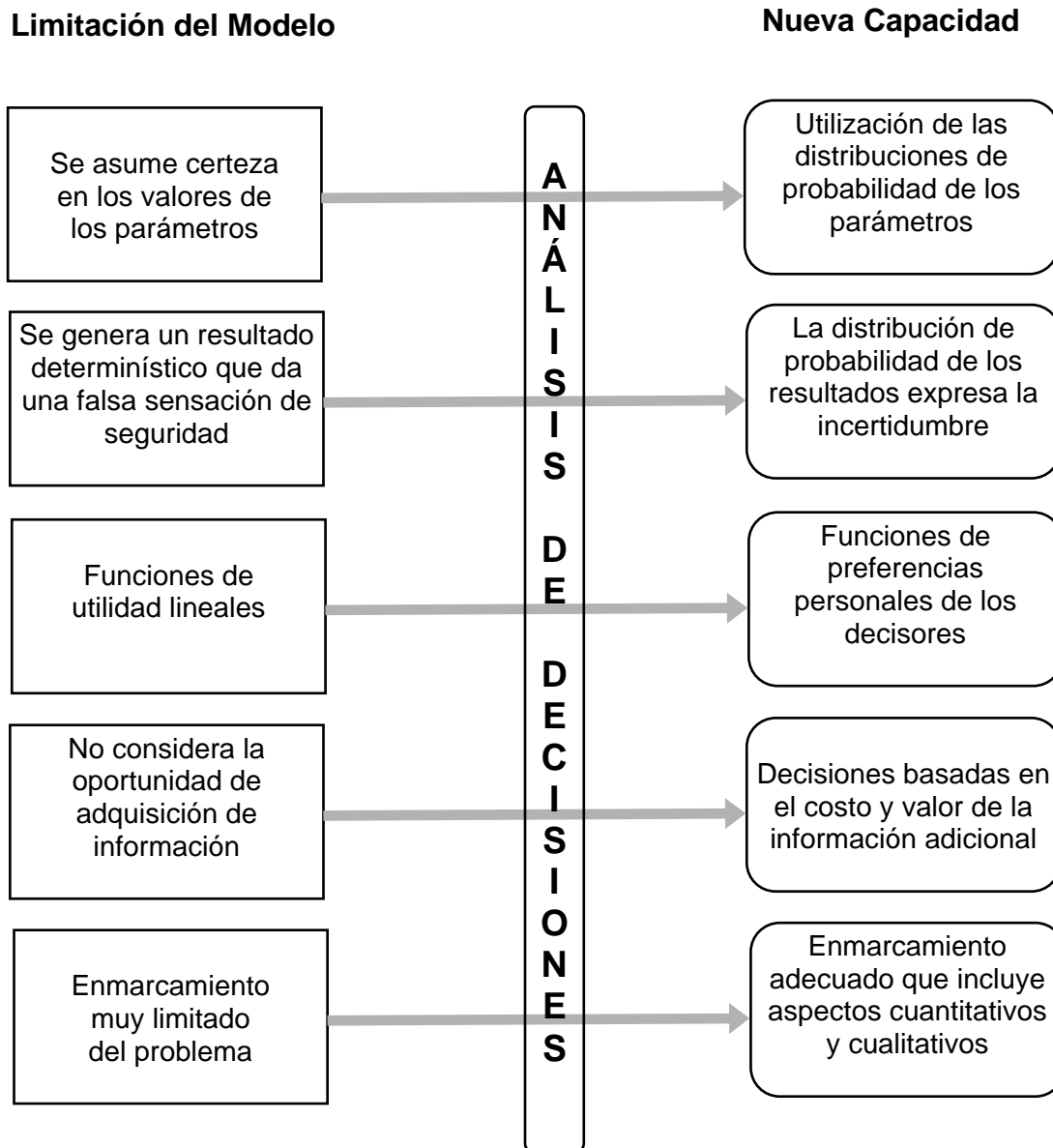
Las funciones lineales de ganancias, costos o preferencias sobre los resultados son una simplificación que invariablemente resulta en un modelo más fácil de resolver. Aunque en muchas situaciones estas funciones lineales son una buena aproximación, existen casos en los que es necesario reconocer la no-linearidad de las funciones para resolver satisfactoriamente el problema. Para algunos casos se han desarrollado modelos no-lineales, pero en muchas situaciones no se cuenta con un modelo no-lineal, especialmente si la no-linearidad se combina con incertidumbre. El análisis de decisiones puede abordar estos problemas de las siguientes maneras:

- a. Obteniendo funciones de preferencia (valor o utilidad) para los resultados que están en juego. Estas funciones reflejan la actitud al riesgo del decisor y son, en ese sentido, una solución personalizada al problema.
- b. Generando funciones de preferencia que incluyen resultados cualitativos (no cuantificables contablemente). La inclusión de resultados contables y no contables en la evaluación del modelo permite obtener una apreciación mucho más realista del valor de la alternativa.
- c. Discretizando las funciones no lineales y, si es el caso, combinándolas con su correspondiente incertidumbre, es posible desarrollar modelos de decisión fáciles de calcular que resuelven el problema específico (no necesariamente el problema general).

**Caso IV: Oportunidad de adquisición de información.**

El reconocimiento de incertidumbre en el modelo puede no ser suficiente para obtener la mejor solución a un problema. Si existen oportunidades de adquisición de información para la disminución de incertidumbre, estas deben ser evaluadas para determinar la conveniencia de dicha adquisición.

Esta situación es más común de lo que parece a primera vista: basta pensar en la variedad de situaciones en las que no se tiene certeza sobre los parámetros y en los que es posible realizar experimentos, pruebas, estudios de mercado, consulta a especialistas u otras formas de compra de información. El hecho de que la información sea uno de los bienes más intangibles que hay en el mercado, seguramente ha contribuido a que no se aprovechen plenamente las oportunidades de adquisición de información o, que por el contrario, se adquiera información que vale menos de lo que cuesta. Los modelos de análisis de decisiones permiten una valoración natural y sencilla de la información adicional.



**Figura 3. Limitaciones superables con análisis de decisiones**

**Caso V: Enmarcamiento muy limitado del problema.**

Muchos modelos cuantitativos se desarrollaron para problemas técnicos específicos. Este enfoque tiene la ventaja de que limita la complejidad del problema a modelar y consecuentemente facilita la solución del modelo resultante. Sin embargo, este enfoque falla cuando el problema que nos interesa resolver es parte de un problema más amplio o es afectado por factores fuera del marco original del problema.

Usando el enfoque de análisis de decisiones se puede realizar un enmarcamiento más amplio del problema para incluir todo lo que es relevante. Esto es, no se parte de un marco predeterminado por el tipo de técnica que se usará, sino que se realiza un análisis general de preferencias, objetivos, oportunidades de decisión, alternativas, incertidumbre y resultados. Utilizar este enfoque en problemas de ingeniería nos evita realizar un análisis más estrecho que lo que el problema requiere.

Por ejemplo, si deseamos mejorar la eficiencia de una empresa mediante una mejor distribución en planta y deseamos utilizar la técnica correspondiente, encontraremos que la técnica asume que el problema a resolver está circunscrito al área de producción. Sin embargo, en algunos casos la eficiencia de la distribución en planta es afectada por factores externos al área de producción; por ejemplo la organización de los embarques (su frecuencia y cantidad), o el costo de oportunidad de la superficie (o volumen) que se está distribuyendo, o la disponibilidad de capital para hacer modificaciones a la distribución actual.

Una manera de abordar el problema es hacer un modelo de decisión en el que las alternativas sean diferentes distribuciones en planta y donde el criterio de evaluación exprese las preferencias de la compañía por la eficiencia y costo de la nueva distribución junto con el efecto de dicha distribución en la organización de los embarques, costos financieros, costos de oportunidad o cualquier otro factor externo al área de producción. Se puede usar un modelo de decisión de atributos múltiples para incluir todos los atributos que le importan al decisor. La técnica de distribución en planta sería una parte del modelo de decisión y esta se aplicaría utilizando las diferentes combinaciones de factores generados por el planteamiento más amplio.

**5. Ejemplos de mejoramientos de modelos con análisis de decisiones**

A la fecha se han realizado en el Instituto Tecnológico de Orizaba varias aplicaciones del enfoque presentado en este trabajo. A continuación se describen brevemente dos de ellas y se mencionan otras aplicaciones.

**5.1 Técnica de evaluación de proyectos de inversión**

La motivación para el mejoramiento de la técnica de evaluación de proyectos de inversión fue el reconocimiento de una importante deficiencia. Se identificaron situaciones, especialmente inversiones en activos fijos de las empresas para fines de producción, en las que el proyecto a evaluar tenía consecuencias importantes que no se contabilizaban en términos económicos. Así pues, la aplicación del modelo tradicional de evaluación económica a este tipo de situaciones no da un resultado satisfactorio puesto que subvalora las alternativas con aspectos positivos que no se reflejan en ingresos contables (actualización tecnológica, satisfacción en el trabajo, seguridad del personal, entre otros) y sobrevalora alternativas con aspectos negativos no contables (riesgos, esfuerzo de adaptación a la tecnología, demérito de la imagen de la empresa ante la comunidad, entre otros).

La característica estructural de la técnica que ocasiona esta limitación es la valoración de las alternativas exclusivamente en términos de flujos de efectivo contables, esto es, en términos de las

cantidades de dinero que se erogan o reciben directamente. Por otra parte, en la situación real las alternativas tienen aspectos positivos (ventajas) que no se reflejan como recepción de dinero; por ejemplo, una tecnología que se esté considerando puede tener la deseable cualidad de generar niveles muy bajos de contaminación (mucho más bajos que los requeridos por la legislación vigente), pero no hay un flujo de efectivo asociado a esta característica deseable. Similarmente, una alternativa de inversión puede representar un cambio muy drástico en el ambiente de trabajo e implicar un gran esfuerzo de adaptación de trabajadores y supervisores, así como un riesgo durante las primeras semanas de trabajo, pero la empresa no desembolsa directamente cantidad alguna (contablemente) por esta característica negativa, y por lo tanto este factor no es considerado en una evaluación de proyectos tradicional.

Puesto que estos factores “intangibles” son importantes, los gerentes experimentados los toman en cuenta al decidir entre alternativas, pero generalmente sólo lo hacen empíricamente y cuando perciben que algún factor cualitativo es crítico.

La aplicación de los conceptos de análisis de decisiones a esta técnica llevó a generar un método que permite convertir las ventajas y desventajas no contables de un proyecto, en flujos de efectivo monetario. Para realizar la conversión se utilizó el concepto de “disponibilidad a pagar por cambio de prospectos o escenarios”. En el nuevo método se pide al decisor que transforme sistemáticamente las ventajas y desventajas del proyecto en equivalentes monetarios y, posteriormente, el analista combina estos flujos de efectivo con los flujos contables, para realizar una evaluación integral del proyecto.

Este enriquecimiento del modelo es del tipo V (enmarcamiento limitado de la situación) y el análisis de decisiones nos permitió ampliar el marco para incluir los aspectos no contables. Al desarrollar el nuevo método nos dimos cuenta que éste tiene aplicación no sólo en situaciones de inversión, sino que su utilidad se puede generalizar a muchas otras situaciones en las que se esperan consecuencias importantes no contables y existen flujos de efectivo en diferentes puntos en el tiempo. El desarrollo de esta aplicación estuvo principalmente a cargo del tesista Emilio Isaí Córdova Córdova (1996).

## **5.2 Modelos clásicos de inventario**

Los modelos clásicos de inventario son de gran utilidad por su facilidad de uso y por la importancia económica que tienen los inventarios en las empresas. En estos modelos los parámetros son en muchos casos determinísticos.

La situación real que constituyó la primera motivación para mejorar este tipo de modelos fue la fuerte variabilidad de uno de los parámetros que generalmente se considera constante: el costo unitario de llevar el inventario. El componente principal de este costo es el costo del capital invertido en el inventario y, a su vez, ese costo depende de las tasas de interés bancarias vigentes en el país. Considerando la gran volatilidad que han mostrado las tasas de interés en México, es evidente la necesidad de considerar la incertidumbre sobre este parámetro en los modelos de inventario.

Esta es una situación en la que el modelo tiene una limitación del tipo I (supuesto de certeza en los parámetros) y el problema se abordó replanteándolo como una situación de decisión. En este nuevo planteamiento, se considera un reducido número de costos específicos del dinero que cubren todo el rango de costos que son posibles en el horizonte de planeación del decisor. Para cada costo de dinero se determina el nivel óptimo de inventario, esto es, óptimo para ese costo del dinero. Como puede verse, el modelo de inventario es un componente del modelo de decisión. Ahora, el decisor enfrenta la decisión de seleccionar un nivel de inventario

"condicionalmente óptimo" ante la incertidumbre del costo del dinero. Esta situación se modela mediante un árbol de decisiones y se resuelve fácilmente (se tiene sólo un nodo de decisión y un nodo de incertidumbre asociado a cada alternativa).

Este enfoque se puede generalizar a situaciones en las que existe incertidumbre significativa en uno o más de los otros parámetros clave del modelo. Estos parámetros pueden incluir el costo de ordenar, el costo de faltante, la demanda o la tasa de producción. La tésista Thelma Patricia Tepepa Rincón desarrolló estos análisis para los siguientes tipos de modelos de inventario: modelo con faltantes permitidos, modelo para lotes de producción de un sólo artículo, modelo con descuentos por cantidad, modelo para lotes de producción de artículos múltiples, y modelo de artículos múltiples con restricciones.

Una ampliación adicional de esta aplicación lo constituyó el análisis de la conveniencia de obtener más información antes de tomar una decisión definitiva sobre la política de inventarios. La información adicional puede ser un estudio económico que pronostique la tasa de interés. Se realizó este análisis para todos los modelos de inventario mencionados y se encontró que la decisión de comprar información no dependía realmente de los valores de los parámetros sino del modelo de inventario y del parámetro incierto. Este resultado es de gran importancia ya que, una vez establecidos los casos en que no se justifica comprar información (Tepepa Rincón 1998) no es necesario hacer cálculos, sino únicamente identificar el tipo de situación que se enfrenta.

### 5.3 Otras aplicaciones

Existen muchas otras técnicas de ingeniería industrial que, al tratar de aplicarlas a problemas complejos, presentan una o más de las limitaciones descritas en la Sección 4. Por ejemplo, el autor ha desarrollado formas de modelación para un análisis más completo (en un marco ampliado) del valor para la empresa de los estudios de mercado. Esta modelación incluye tanto la calidad de la información como la pureza de la información (la ausencia de efectos colaterales indeseables al obtener información). Aplicaciones adicionales de los modelos de decisión están documentadas en (Ley Borrás 1998a, 1998c)

Otros modelos de ingeniería industrial que pueden ser enriquecidos incluyen:

- Desarrollo de técnicas de distribución en planta en la que se incluyen aspectos externos a la distribución física.
- Modelos de planeación agregada en la que alguno o algunos de los parámetros son inciertos.
- Análisis económico considerando flujos inciertos y/o tiempos inciertos entre flujos.
- Modelos de evaluación de proyectos con funciones no lineales de preferencia para diferentes niveles monetarios de resultados.
- Modelos de rentabilidad y punto de equilibrio donde los factores (costos, ingresos, márgenes de ganancia) son inciertos.
- Métodos de asignación en los que la función objetivo es no lineal y/o los indicadores de asignación son inciertos.
- Métodos de programación de actividades (ruta crítica, PERT) con incertidumbre en los valores de la matriz de precedencia (además de incertidumbre en los tiempos).

- Modelos de localización de plantas en los que se puede adquirir información adicional para disminuir la incertidumbre sobre los factores que se están evaluando.

Desarrollar cualquiera de estos ejemplos proporcionaría una herramienta de ingeniería industrial más poderosa. Además, un valioso complemento a las nuevas técnicas es la elaboración de paquetes de cómputo que implementen los modelos enriquecidos y los hagan más accesibles a los profesionistas y estudiantes.

En síntesis, el uso de análisis de decisiones puede hacer más potentes muchas de nuestras preciadas técnicas de ingeniería industrial.

## Conclusiones

La aplicación de conceptos y métodos del análisis de decisiones a los modelos cuantitativos en general y a las técnicas de ingeniería industrial en particular resulta en herramientas tecnológicas más poderosas. Los modelos desarrollados usando el enfoque presentado en este artículo nos permiten abordar problemas que tienen un mayor nivel de complejidad que los que se abordan con el modelo original.

La flexibilidad y facilidad de resolución de los modelos de decisión no sólo hace práctica la solución de problemas más complejos sino que, en algunos casos, permite el desarrollo de nuevos métodos de solución de problemas. Los ejemplos mencionados en este trabajo son sólo una muestra del potencial del análisis de decisiones para enriquecer modelos de ingeniería industrial.

**Reconocimientos:** Este trabajo es parte del proyecto de investigación 0717P-A "Mejoramiento de Técnicas de Ingeniería Industrial usando Análisis de Decisiones" apoyado por CONACYT y el Instituto Tecnológico de Orizaba.

## Bibliografía

Clemen, Robert T. (1996) *Making Hard Decisions an Introduction to Decision Analysis 2a. Ed.*, Duxbury Press, Belmont, California.

Córdova Córdova, Emilio Isaí (1996) *Desarrollo de un modelo de evaluación integral de proyectos utilizando el enfoque de análisis de decisiones*, Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba.

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

Ley Borrás, Roberto (1996) "Representación del Conocimiento en Análisis de Decisiones", *Revista UPIICSA*, Vol. 4, No. 9, pp. 2-8.

Ley Borrás, Roberto (1998a) "A Decision Analysis Approach to Industrial Engineering", *Proceedings of the NSF Design and Manufacturing Grantees Conference*, pp. 10-14, enero 1998.

Ley Borrás, Roberto (1998b) "Principios para el Desarrollo de Modelos Reusables de Decisión", Revista *UPIICSA*, Vol. 6, No. 16, pp. 10-14.

Ley Borrás, Roberto (1998c) "Using Decision Frames in NAFTA Intranational Conflicts" *Policy Studies Review*, Vol. 15, No. 2/3, pp. 101-115.

McNamee, Peter y John Celona (1989). *Decision Analysis with Supertree. 2nd. Ed.* The Scientific Press.

Tepepa Rincón, Thelma Patricia (1998) *Análisis de decisiones sobre inventarios cuando existe incertidumbre en los parámetros del modelo*, Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba.

Tepepa Rincón, Thelma Patricia y Roberto Ley Borrás (1998) "Sensibilidad a la Incertidumbre en los Parámetros de Cinco Modelos de Inventario", *Memoria del Coloquio 1998 de Investigación y Aplicación de la Ingeniería Industrial*.

#### **Acerca del autor**

Roberto Ley Borrás es Director del Grupo de Investigación en Análisis de Decisiones y Profesor Investigador en el Instituto Tecnológico de Orizaba. Su formación académica incluye el Doctorado en Ingeniería de Sistemas Económicos en Stanford University, la Maestría en Ingeniería Industrial en Lehigh University y la licenciatura en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba. El Dr. Ley posee además experiencia profesional en consultoría, puestos directivos y docencia a nivel licenciatura, posgrado y gerencial.

Correo electrónico: **rley (a) decidir. org**.