

El Poder de Generalización de los Modelos Reusables de Decisión

por

Dr. Roberto Ley Borrás

Publicado en *Investigación Administrativa* No. 87, Vol. 29, pp. 1-14, diciembre 2000.

Resumen

Este artículo presenta los conceptos, modelos, técnicas y recomendaciones para la construcción de modelos reusables de decisión. Los modelos reusables de decisión son una nueva forma de abordar decisiones importantes en la industria y las organizaciones en general. Un modelo reusable de decisión permite analizar casos particulares de una familia de situaciones de decisión (conjunto de situaciones particulares con elementos comunes) haciendo ajustes a un modelo general. Utilizando modelos reusables es posible obtener un modelo de decisión particular en menos tiempo y con menos esfuerzo que iniciando una modelación en cada caso.

Cada modelo reusable está formado por un *modelo maestro* que incluye todas las decisiones, alternativas, eventos inciertos, resultados y preferencias que prevemos pueda tener cualquier situación particular de la familia de decisiones (y los vínculos entre ellos) y un *metamodelo de decisión* que nos permite determinar qué elementos del modelo maestro se activan para cada situación particular.

El poder de generalización de los modelos reusables de decisión puede hacer más eficiente, económica y accesible la práctica del análisis de decisiones.

Introducción

La función más importante de los ejecutivos que dirigen las empresas e instituciones es tomar buenas decisiones. Tomar buenas decisiones puede hacer la diferencia entre el éxito o el fracaso de las personas y las organizaciones, por lo que se justifica analizar formalmente las decisiones importantes.

El análisis de decisiones es la disciplina que permite abordar situaciones complejas de decisión y lograr una comprensión profunda que muestra con claridad la mejor alternativa.

La manera tradicional de realizar el análisis formal de decisiones es describir la situación mediante un modelo matemático que vincula las decisiones, alternativas, eventos

inciertos, resultados y preferencias. Este modelo es como un traje a la medida de la situación de decisión y, como los trajes a la medida, queda muy bien pero es caro y tardado. ¿Puede lograrse la misma calidad de análisis a menor costo y en menos tiempo?.

Aunque cada situación de decisión es en cierta medida única, esta puede tener elementos comunes que permitirían utilizar un modelo de decisión anterior como punto de partida para un nuevo modelo. Para aprovechar al máximo los ahorros de costo y tiempo al reusar un modelo, es necesario desarrollar desde el principio un modelo con un mayor nivel de generalidad ya que esto facilitará el reuso del mismo. Esto es lo que se busca lograr al desarrollar modelos reusables de decisión.

Este artículo consta de siete secciones. En la primera sección se describe la estructura de los modelos reusables y se tipifican las situaciones en las que es más ventajoso utilizarlos. En la segunda sección se discute la representación general del modelo maestro de decisión y del metamodelo; en la tercera y cuarta sección se describe en detalle la construcción de esos modelos. En la quinta sección se discute la implantación computacional de los modelos reusables y las pruebas que se requieren hacer para garantizar su buen funcionamiento. En la sexta sección se desarrolla un ejemplo de modelo reusable y la séptima sección discute las ventajas y retos de crear modelos reusables de decisión.

1. Estructura y Aplicabilidad de los Modelos Reusables

1.1 Estructura de los modelos reusables de decisión

El objetivo de desarrollar modelos reusables es hacer más eficiente el análisis de casos particulares de una familia de decisiones y disminuir el costo del análisis para el decisor. Para lograr esa economía es necesario crear modelos más generales.

Un modelo reusable verdaderamente útil debe ser suficientemente flexible para permitir abordar nuevos problemas sin tener que realizar el proceso de modelación desde el principio. La flexibilidad de los modelos reusables se obtiene usando dos nuevos tipos de modelos que al combinarse proporcionan completez y eficiencia: el modelo maestro y el

metamodelo de decisión. Algunos de los principios para el desarrollo de estos modelos se presentan en (Ley Borrás 1998).

Modelo maestro y metamodelo

Un modelo reusable de decisión está formado por un **modelo maestro de decisión** que incluye todas las decisiones, alternativas, eventos inciertos, sucesos, resultados, y preferencias, así como las relaciones de relevancia, influencia e impacto (la estructura de la situación) que prevemos pueda tener cualquier modelo de la familia de decisiones y un **metamodelo de decisión** que indica bajo que condiciones se activan los elementos del modelo maestro en las situaciones particulares.

Elementos de las situaciones de decisión

Existen cuatro tipos de elementos en las situaciones de decisión: I) preferencias, II) decisiones y alternativas, III) eventos inciertos y sucesos, y IV) resultados, y tres tipos de relaciones que definen la estructura de la situación de decisión: relaciones de relevancia, influencia e impacto. A continuación se describen cada uno de esos tipos de elementos y relaciones.

Las **preferencias** son lo que el decisor desea lograr y se representan generalmente como funciones matemáticas que asignan valores numéricos de deseabilidad a los posibles resultados de la situación de decisión.

Las **decisiones** son oportunidades para elegir libremente cursos de acción llamados alternativas. Las **alternativas** son acciones que afectan los resultados y que están bajo el control del decisor en el sentido de que puede seleccionar la que desee. Por conveniencia analítica las alternativas se definen de manera que sean mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas.

Los **eventos inciertos** están parcial o totalmente fuera del control del decisor y afectan los resultados que le importan al decisor. Los **sucesos** son las posibilidades de un evento incierto. Por ejemplo, las posibilidades (sucesos) del evento incierto "resultado del concurso por un contrato" son "ganar el contrato" y "no ganar el contrato". El conocimiento sobre los eventos inciertos se expresa mediante **distribuciones de**

probabilidad que asignan un valor de probabilidad a cada suceso. Por conveniencia analítica los sucesos discretos se definen de manera que sean mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos.

Los **resultados** son las consecuencias de las combinaciones de alternativas y sucesos. Para que un resultado sea significativo, al decisor debe importarle (tener preferencias sobre) el resultado.

Las relaciones de **relevancia** se dan cuando la ocurrencia de diferentes sucesos de un evento incierto modifica la distribución de probabilidad de otro evento incierto. En los diagramas de influencia se representan como flechas que salen de un nodo de incertidumbre y llegan a otro nodo de incertidumbre.

Las relaciones de **influencia** se presentan cuando la elección de alternativas de una decisión modifica la distribución de probabilidad de un evento incierto. En los diagramas de influencia se representan como flechas que salen de un nodo de decisión y llegan a un nodo de incertidumbre.

Las relaciones de **impacto** se dan cuando la ocurrencia de uno o más sucesos de un evento incierto, o la elección de una o más alternativas de una decisión modifican los resultados que se obtendrían. En los diagramas de influencia se representan como flechas que salen de un nodo de incertidumbre o uno de decisión y llegan al nodo de resultados.

El conjunto de relaciones de relevancia, influencia e impacto forman la **estructura** del modelo de decisión. Puede consultarse más información sobre la representación de estas relaciones y sobre diagramas de influencia en (Ley Borrás 2001)

1.2 Situaciones en las que es ventajoso construir modelos reusables

Las situaciones de decisión en las que generalmente es ventajoso crear modelos reusables tienen las siguientes tres características:

- se presentan recurrentemente
- tienen un conjunto especificable de escenarios y

- son importantes para el decisor.

Una situación candidata puede presentarse una o varias veces al mes o al año y requerir del mismo tipo de decisión pero en cada caso es una decisión particular. Por ejemplo, considere la siguiente situación:

La campaña anual de lanzamiento de automóviles. Una compañía automotriz debe decidir las características de la campaña de lanzamiento de los modelos de automóvil del próximo año. Cada año se debe decidir cuanto impulsar cada tipo de vehículo y qué medios se utilizarán. Aunque estas decisiones anuales tienen elementos en común, en cada una de ellas existen elementos que las hacen diferentes. Por ejemplo, el próximo año pueden estar disponibles nuevas alternativas de promoción, o se puede saber que los competidores adelantarán sus campañas, o que uno de los competidores introducirá un revolucionario nuevo modelo, o que las perspectivas económicas del país (y consecuentemente la venta de autos) son diferentes ese año, o que una guerra de precios de las compañías de televisión ha hecho más accesible este canal de promoción. Puede haber tantos elementos nuevos con respecto al año pasado que la situación de decisión se vea muy diferente. Sin embargo, la estructura de la decisión es la misma y existen elementos que no han cambiado o lo han hecho mínimamente. Además, la regularidad con que opera la industria automotriz permite imaginar un conjunto de escenarios que incluya lo que se puede esperar cada año.

La situación de decisión descrita es una buena candidata para ser abordada mediante modelos reusables porque: a) esta se presenta periódicamente y existe en cada ocasión un entorno de decisión diferente, b) es posible especificar un conjunto relativamente completo de escenarios y, c) la decisión es importante para el usuario (la competencia automotriz es muy fuerte).

En contraste, las situaciones únicas, muy complejas, de poco impacto, o en las que no es práctico compartir el modelo con otros usuarios, no son buenas candidatas para ser abordadas con modelos reusables.

A continuación se presenta el concepto de familias de situaciones de decisión. El uso de este concepto ayuda a utilizar ventajosamente los modelos reusables de decisión.

Familias de situaciones de decisión

Una familia de situaciones de decisión es un conjunto de decisiones particulares con estructura y elementos comunes.

Dos tipos de familias de situaciones de decisión son:

Situaciones de decisión que son enfrentadas recurrentemente por empresas u organizaciones particulares. Estas situaciones de decisión ocurren en el mismo ámbito organizacional y, al menos durante algún tiempo, son enfrentadas por el mismo decisor. Ejemplos de este tipo de situaciones son la determinación del nivel de producción, la adquisición de bienes de capital, la selección de tecnología de producción, la definición de campañas de promoción, la selección de canales de distribución, el lanzamiento de productos, o el acceso a nuevos mercados. En cada uno de estos casos hay decisiones, eventos inciertos y preferencias que son comunes a los integrantes de la familia de situaciones de decisión.

Situaciones de decisión en las que se aborda el mismo tipo de problema u oportunidad en organizaciones o empresas diferentes. En este tipo de familias de decisión típicamente se utilizarán diferentes funciones de preferencia y habrá mayor variación en otros elementos (como las alternativas disponibles) pero se mantiene la estructura del problema.

En cada familia de situaciones de decisión habrá elementos comunes y elementos particulares. Por ejemplo, en las decisiones sobre introducción la adquisición de bienes de capital hay varios elementos en común que deben ser parte del modelo, independientemente del producto o equipo que se desee adquirir. Si se está considerando la adquisición de bienes similares, digamos plantas de tratamiento de agua, los elementos comunes serán abundantes aunque se trate de compañías diferentes. En general, mientras más homogénea sea la familia de situaciones de decisión, habrá más elementos en común en los modelos particulares, y por lo tanto serán mayores los ahorros de tiempo y costo al desarrollar un modelo reusable.

El uso del modelo maestro y el metamodelo para generar un conjunto de modelos particulares es una nueva forma de pensar acerca de una familia de situaciones de

decisión. Mediante el modelo reusable se obtiene una "economía de escala" con respecto a la generación de varios modelos particulares, ya que se abordan todas las situaciones de la familia de decisión en conjunto, y se logra un mejor entendimiento de la familia de decisión estudiada.

2. Representación de Modelos Reusables

En un modelo reusable se representa el modelo maestro y el metamodelo. Las formas más adecuadas para representar el modelo maestro son los árboles de decisión y diagramas de influencia. El metamodelo se puede representar con un diagrama de flujo o con otras formas de representación. A continuación se presentan algunas observaciones sobre el uso de estas representaciones.

2.1 Representación del modelo maestro

Si no se tienen muchos elementos en la situación, los árboles de decisión son una opción atractiva para representar el modelo maestro: todas las alternativas, sucesos y resultados están desplegados ante nuestros ojos. Sin embargo, esta representación oculta las relaciones de relevancia, influencia e impacto entre variables y, además crece geométricamente al añadirse elementos.

El uso de un diagrama de influencia para representar el modelo maestro da un modelo compacto que muestra claramente la relevancia, influencia e impacto pero no muestra las alternativas, sucesos y resultados detallados. Otra limitante de los diagramas de influencia es que las situaciones asimétricas quedan "enmascaradas" en la intrínseca simetría de este tipo de representación: el diagrama de influencia puede ocultar parte de la información sobre la estructura del problema. Como la información sobre la estructura de la situación es necesaria para seguir las instrucciones del metamodelo, puede ser necesario un mayor grado de detalle en el metamodelo para expresar la asimetría.

Por otro lado, dado que la relevancia, la influencia y el impacto son elementos de la situación representados explícitamente en el diagrama de influencia, el metamodelo puede ventajosamente hacer mención directa a los cambios en dichos elementos.

2.2 Representación del metamodelo

El metamodelo puede representarse como un diagrama de flujo en el que se indica qué componentes del modelo de decisión se activan al cumplirse las condiciones indicadas en cada elemento del diagrama de flujo. Un buen diagrama de flujo es equivalente a un árbol de decisiones resuelto en el que ya se identificaron las elecciones óptimas y estas son las únicas que se representan.

Si existen cambios en el ambiente de decisión que no sean representables en forma eficiente por un diagrama de flujo, éste puede complementarse con instrucciones sobre la manera de modificar el modelo maestro.

Adicionalmente, el metamodelo debe contener la información necesaria para determinar si una situación particular pertenece a la familia de situaciones de decisión y si el objetivo que se persigue es consistente con el expresado en el modelo reusable.

3. Construcción del Modelo Maestro de Decisión

3.1 Consideraciones generales

Hay dos requisitos principales que debe cumplir el modelo maestro correspondiente a una familia de situaciones de decisión:

- Debe representar la estructura común de las situaciones de decisión
- Debe incluir los elementos particulares correspondientes a todos los casos que podamos prever.

La estructura de la situación es la manera como se relacionan los elementos de la situación de decisión. Para representar dicha estructura se utiliza el enfoque de análisis de decisiones; este enfoque puede consultarse en los libros (Ley Borrás 2001), (Hammond, Keeney y Raiffa 1999), (Matheson y Matheson 1997), (Clemen 1996), y (McNamee y Celona 1990), entre otros.

Incluir todos los elementos particulares previsible requiere un análisis amplio y capacidad para visualizar condiciones tal vez no usuales pero posibles. Es necesario explorar las oportunidades de decisiones que pueden presentarse, las alternativas que pueden estar

disponibles, los eventos inciertos que pueden ser relevantes, la naturaleza de los resultados que pueden producirse, los criterios de valoración que pueden expresar las preferencias del decisor, y las relaciones de relevancia, influencia e impacto.

Generalmente se desea construir un modelo maestro utilizando un solo modelo de decisión, esto es, utilizando un árbol de decisiones o un diagrama de influencia completamente conectado. Sin embargo, para representar todas las combinaciones de circunstancias que pueden presentarse es conveniente en ocasiones construir dos o más modelos separados.

3.2 Objetivos, valores y funciones de preferencia

El primer aspecto que debe clarificarse al construir el modelo maestro es el objetivo del decisor en la situación de interés. La identificación de alternativas, incertidumbres y resultados relevantes depende de lo que desea lograr el decisor. Por otra parte, el decisor puede tener varios objetivos y algunos de ellos pueden estar en aparente contradicción. Para clarificar los objetivos y determinar su importancia relativa, se debe trabajar con el decisor para identificar sus valores: lo que le importa. En base a sus valores, los objetivos pueden clasificarse como fundamentales o intermedios (Keeney 1992); la valoración de resultados debe hacerse en función del objetivo fundamental (o los objetivos fundamentales si hay más de uno).

En un modelo maestro se debe pensar en los objetivos y valores apropiados para toda la familia de decisiones. Estos objetivos son usualmente más amplios que los correspondientes a las decisiones particulares.

Las funciones de preferencia son expresiones matemáticas que representan los objetivos y valores del decisor. Estas funciones ayudan a valorar los resultados de la situación de decisión. La valoración homogénea de los resultados se logra mediante la transformación de los resultados que estén originalmente en diferentes unidades (dinero, tiempo, salud, impacto ambiental, etc.) a una unidad única de valoración.

Al especificar funciones de preferencia es necesario que éstas sean lo suficientemente amplias y estables para ser usadas en situaciones futuras (que no estén demasiado influidas por las necesidades presentes en el momento de realizar el modelo maestro). Si

se determina que cambios en la situación del decisor generarían cambios en su función de preferencias, por ejemplo al aumentar el tamaño de empresa o la riqueza del decisor, se puede definir un conjunto de funciones de preferencia como parte del modelo maestro. Al hacer esto, la función de preferencias a utilizar en un caso particular estaría condicionada en una o más variables del modelo.

Cuando se espera que el modelo sea usado por decisores diferentes al que proporciona la información actual, se debe ser especialmente explícito respecto a los criterios de valoración de resultados y respecto a la manera como estos criterios pueden modificarse para que sean adecuados a otro decisor.

3.3 Decisiones, alternativas e influencias

Algunas recomendaciones para representar en el modelo maestro las decisiones y sus correspondientes alternativas son:

- Incluir todas las oportunidades de decisión y todas las alternativas que pueda presentar cada situación particular de decisión.
- Establecer la secuencia de decisiones que deben realizarse, e indicar cuándo la secuencia de decisiones puede ser diferente. La modelación de secuencias de decisión diferentes puede requerir hacer modelos separados (disjuntos) de decisión.
- Establecer la influencia de cada alternativa a eventos inciertos del modelo e indicar, en la documentación del modelo, la razón por la que se tiene esa influencia. El metamodelo debe indicar, si es el caso, las circunstancias en las que la influencia deja de existir.
- Al modelar con diagramas de influencia, incluir una flecha de influencia entre el nodo de decisión y el nodo del evento incierto, si el tomar una cualquiera de las alternativas modifica la distribución de probabilidad del evento incierto.
- Al modelar con diagramas de influencia, incluir una flecha de impacto entre el nodo de decisión y el nodo de valor, si una o más de las alternativas tiene un costo u otro impacto en el nodo de valor.
- Distinguir las decisiones y alternativas centrales al problema de las decisiones complementarias o accesorias, especificar con más detalle las decisiones más importantes.

- Utilizar tablas de estrategia siempre que sea posible. Las tablas de estrategia son una forma compacta de especificar múltiples combinaciones de alternativas que forman estrategias (macro-alternativas) significativamente diferentes (Howard 1988). La tabla de estrategias sirve para generar alternativas que se representan en el modelo, pero la tabla en sí no es parte del modelo. La tabla es un complemento del modelo maestro que ayuda a determinar las alternativas que se incluyen en un caso particular. Sin embargo, si al usar la tabla de estrategias para realizar el modelo maestro se determinan todas las alternativas compuestas (estrategias) que se pueden razonablemente usar, se puede omitir la tabla de estrategia del modelo maestro y retener sólo las estrategias generadas.
- Ser creativo para incluir la variedad más amplia posible de alternativas.

3.4 Eventos inciertos, sucesos y relevancia

En el modelo maestro se definen todos los eventos inciertos y sus correspondientes sucesos, así como las relaciones de relevancia entre ellos. Se pueden especificar valores de probabilidad, aunque es de esperarse que estos valores se actualicen en base al estado de información que se tenga al modelar cada situación particular.

Especificación de eventos inciertos

Para realizar la especificación de los eventos inciertos se deben definir los sucesos y establecer en forma preliminar la distribución de probabilidad de cada evento. Para variables continuas se puede realizar esta especificación determinando los valores correspondientes a los percentiles 10, 50 y 90. En las situaciones particulares de decisión se actualizarán los tres valores y, mediante análisis de sensibilidad determinística (McNamee y Celona 1990), se seleccionará o no la variable para la asignación de probabilidades. Para variables discretas se pueden determinar todos los sucesos y sus correspondientes valores de probabilidad "típicos", recordando que al modelar los casos particulares se actualizará la distribución de probabilidad.

Procedimientos de asignación de probabilidades

Es conveniente establecer y documentar procedimientos sencillos para asignar probabilidades a eventos inciertos ya que generalmente los decisores no están acostumbrados a realizar este tipo de asignación de valores.

Eventos genéricos

Si no es práctico hacer una enumeración completa de los eventos inciertos, se pueden añadir eventos genéricos que indiquen la existencia de otros eventos inciertos relevantes. Por ejemplo, se pueden incluir nodos denominados “otras variables favorables”, “otras variables desfavorables”, “otros factores externos”, etcétera. Es fácil incluir este tipo de eventos, pero ellos hacen al modelo maestro más difícil de usar en las situaciones particulares: en cada situación particular se deberán especificar esos eventos genéricos (deberán pasar la prueba de claridad) y se deberá determinar su efecto en los otros elementos del modelo.

Relevancia

La especificación de la relevancia entre variables inciertas es un aspecto delicado del desarrollo del modelo maestro. Aún si no es definitiva la existencia de relevancia para los casos particulares, se debe incluir la relevancia (incluir la flecha si se modela en un diagrama de influencia) para que el metamodelo tenga ese elemento como punto de referencia y pueda especificar las circunstancias en que la flecha de relevancia debe eliminarse. Aunque la relevancia no implica causalidad, la causalidad si implica relevancia. Por lo tanto, cuando se tiene una relación causal en la situación de decisión se puede indicar una relación de relevancia sabiendo que esta relación será válida en todos los casos particulares.

3.5 Resultados, impactos y parámetros

Los resultados, impactos y parámetros deben cuantificarse en el modelo maestro sólo como una referencia, ya que esos valores deben ser actualizados para cada caso particular. Su especificación en el modelo maestro ayudará a que estos valores pasen la prueba de claridad en cada caso particular. Así mismo, la presencia de estos elementos en el modelo maestro permite hacer referencia a ellos en el metamodelo.

4. Construcción del Metamodelo de Decisión

4.1 Consideraciones generales

El metamodelo de decisión es la guía para determinar qué elementos del modelo maestro de decisión deben activarse (estar vigentes) para cada caso particular de la familia de situaciones para la que se desarrolló el modelo maestro.

Algunas veces la selección de elementos consiste simplemente en verificar la existencia de ciertas condiciones. En estos casos el metamodelo incluirá una lista o un diagrama de flujo sencillo en el que el usuario va respondiendo preguntas acerca de las características del modelo y el diagrama va indicando los elementos que deben activarse. En otras ocasiones se requiere un procedimiento más elaborado para determinar los elementos a activar.

El metamodelo debe ser fácil de usar y, si el decisor (o uno de sus asociados) tiene la preparación adecuada y dispone de tiempo, éste debe ser entrenado para utilizar el metamodelo y generar los modelos particulares a partir del modelo maestro.

La primera tarea del metamodelo es identificar la situación particular como un miembro de la familia de situaciones para la que fue construido el modelo reusable. Así pues, el metamodelo debe contener la especificación que permita distinguir a una situación que es parte de la familia de una que no lo es.

4.2 Activación de los elementos del modelo maestro

A continuación se describe la ayuda que debe prestar el metamodelo en la particularización de los elementos del modelo maestro.

Activación de funciones de preferencia y criterios de selección

La segunda tarea clave del metamodelo es determinar si en la situación particular el propósito general (objetivo) del decisor es el mismo que está planteado en el modelo maestro. Esto requiere, desde luego, que el objetivo general del modelo reusable esté claramente especificado en el metamodelo.

Una vez confirmado lo anterior, el metamodelo debe ayudar a verificar que la función de preferencia es válida para el rango de valores que están presentes en el caso particular, y ayudar a seleccionar la actitud al riesgo adecuada para la situación particular, si es el caso.

Activación de decisiones y alternativas

El metamodelo debe ayudar a determinar cuales de las decisiones en el modelo maestro son necesarias o posibles, y cuales de las alternativas en cada decisión están realmente

disponibles.

Activación de eventos inciertos y sucesos

El metamodelo debe ayudar a determinar los eventos inciertos (de los incluidos en el modelo maestro) que deben activarse en cada situación particular. La activación de un evento incierto puede depender de parámetros económicos o indicadores de la empresa o la organización. Por ejemplo, la activación del evento incierto “paridad monetaria” puede depender del monto de la deuda de la empresa en divisas extranjeras o en el porcentaje de la producción que la empresa exporta. Si alguno de estos indicadores es alto, la paridad monetaria puede tener un efecto importante en la valoración de las alternativas.

Una vez definida la activación de un nodo de incertidumbre, se debe establecer cuales de los sucesos definidos para ese nodo en el modelo maestro realmente pueden suceder.

La siguiente tarea es la determinación de las probabilidades para cada uno de los sucesos que se activan. Para ayudar en la determinación de las probabilidades de los sucesos, se pueden especificar en el metamodelo los factores que afectan las probabilidades y el sentido en que estos factores las afectan. Por ejemplo, si se tiene el evento incierto “duración del equipo”, se puede almacenar la información sobre los factores que afectan su distribución de probabilidad (usando un mapa de conocimiento), tales como la marca del equipo, su edad, la tasa base de fallos y las condiciones en que será usado el equipo.

Una vez identificados los eventos inciertos que están vigentes en la situación particular de decisión, estos eventos, junto con los otros elementos definidos por el metamodelo constituyen un modelo particular. Los eventos inciertos en este modelo deben ser sujetos a análisis de sensibilidad para determinar cuales de los valores inciertos deben ser representadas como tales y cuales deben ser modeladas como valores determinísticos.

Activación de relevancia, influencia e impacto

En el metamodelo se debe especificar no sólo las circunstancias en las que eventos inciertos son relevantes a otros eventos inciertos, sino qué sucesos específicos son relevantes a otro evento incierto. Esto es, si existe un efecto asimétrico de los sucesos

en otros eventos inciertos, este efecto debe hacerse explícito. Este esfuerzo adicional de documentación ayuda a entender la naturaleza de la relevancia entre eventos inciertos y, por lo tanto, ayuda a especificar un mejor modelo particular de decisión. Este mismo criterio debe aplicarse a las alternativas que tienen influencia (efecto) en las distribuciones de probabilidad de eventos inciertos.

El metamodelo debe especificar los impactos que sucesos y alternativas tienen en los resultados que se esperan de la situación de decisión. Los impactos son los efectos que producen los sucesos o las alternativas en los resultados. Actualizar los impactos para una situación particular significa actualizar las funciones que vinculan los sucesos o alternativas con el nodo de resultados.

Actualización de resultados y parámetros

Actualizar resultados para una situación particular significa cambiar valores específicos correspondientes a una cierta combinación de sucesos y alternativas. Actualizar parámetros significa revisar valores de constantes que forman parte de funciones que definen resultados. El metamodelo debe ayudar al analista y al decisor a realizar la actualización de resultados y parámetros indicando las condiciones en las que estos pueden cambiar, la dirección probable del cambio, y las fuentes de información que deben consultarse para realizar la actualización.

5. Implantación Computacional del Modelo y Pruebas

Dos importantes tareas complementarias en el desarrollo de modelos reusables son la implantación computacional del modelo y la prueba del mismo. Se discutirán estas tareas a continuación.

5.1 Implantación computacional

Existen tres maneras básicas de implementar computacionalmente los modelos reusables: uso de hojas electrónicas, uso de programas especializados de análisis de decisiones y uso de un lenguaje de programación.

Los paquetes de cómputo de hojas electrónicas de cálculo (Lotus y Excell entre otros), permiten formular modelos de decisión con una estructura sencilla. Las hojas de cálculo son especialmente adecuadas para modelos intensivos en cálculos, pero con pocas interrelaciones (relevancias, influencias) entre sí. Se puede utilizar la capacidad de macro instrucciones (macros) de las hojas de cálculo para implementar el diagrama de flujo del metamodelo y utilizar páginas del mismo libro (hoja de cálculo) para modelar diferentes partes del modelo maestro. Usar hojas de cálculo para modelación de decisiones tiene la ventaja de que muchos usuarios están familiarizados con estos paquetes y que existe una copia de esos paquetes en casi cada una de las computadoras personales.

La modelación de situaciones de decisión en *Decision Programming Language* (DPL) u otros paquetes especializados en análisis de decisiones tiene como principal ventaja la relación directa que existe entre los elementos del modelo maestro y la representación computacional. Esto es, cada uno de los elementos señalados en la Subsección 1.1 se puede representar como un componente de un diagrama de influencia o como un componente de un árbol de decisiones. Además, esta modelación puede hacerse completamente desde la interfase gráfica de los paquetes. Otra importante ventaja es la facilidad para realizar diferentes tipos de análisis de sensibilidad a cambios en las variables del modelo. El diagrama de flujo del metamodelo puede construirse fuera del paquete especializado y, al irlo siguiendo, editar el modelo maestro desarrollado en el paquete de acuerdo a sus indicaciones. Otra posibilidad es realizar una programación en el lenguaje interno de DPL, u otro paquete que brinde acceso a su lenguaje interno, para activar o correr sólo las partes del modelo necesarias para cada situación particular. Los diagramas de influencia y árboles de decisión que aparecen en los paquetes especializados son generalmente fáciles de entender por los usuarios finales, pero se requiere que el cliente adquiera el paquete de cómputo para poder usar el modelo. Adicionalmente, estos paquetes generalmente no están diseñados para ser usados por usuarios finales sin un entrenamiento formal en análisis de decisiones.

La tercera manera de implementar ambos modelos es programar la solución del modelo maestro en algún lenguaje de programación (VisualBasic, Pascal, Fortran, C). Esta opción brinda completa flexibilidad en cuanto al diseño de la interfase para el usuario y respecto a los análisis complementarios que se deseen tener, pero la programación es

mucho más laboriosa que el uso de las otras opciones y es costoso modificar el modelo cuando cambian elementos estructurales (se requiere modificar el programa de cómputo).

5.2 Pruebas y mantenimiento del modelo

El modelo maestro debe probarse en términos de la exactitud y precisión de los cálculos que debe hacer. Esto se logra verificando al menos un par de ejemplos que hayan sido resueltos por medios independientes ("a mano").

Los componentes del modelo reusable deben probarse en al menos una situación real de la familia de situaciones que se desea resolver. Se debe verificar que el modelo realmente captura los aspectos esenciales de la situación y excluye los elementos no esenciales. El modelo maestro y el metamodelo deben "trabajar juntos" para proporcionar un modelo particular que sea tan bueno como un modelo hecho sólo para esa situación, y además deben permitir hacerlo con un costo de análisis menor. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que durante el desarrollo del modelo reusable se estará en la parte "cara" de la curva de aprendizaje; los ahorros vienen con las aplicaciones sucesivas del modelo.

Se debe estar alerta a cambios en la estructura del problema que invaliden o hagan menos útil el modelo reusable. Esto no debe requerir mucho esfuerzo ya que se trata simplemente de verificar la naturaleza del problema, pero si no se está atento, el día que cambien las circunstancias no se emitirá la señal de alerta y se utilizará un modelo inadecuado. El que las circunstancias cambien no significa que se deba desechar el modelo reusable. En muchas ocasiones el cambio podrá ser integrado al modelo reusable y éste podrá seguir siendo usado en la modificada familia de situaciones de decisión.

6. Ejemplo de Modelo Reusable

En esta sección se presenta un ejemplo de modelo reusable de decisión. El ejemplo es acerca del lanzamiento de un producto. Este es un ejemplo realista de una situación moderadamente compleja. El modelo maestro está representado en DPL y el metamodelo mediante un diagrama de flujo externo.

Considere una empresa que produce dos artículos, que llamaremos producto A y producto B, que se venden en mercados diferentes. Las instalaciones de la empresa dan la flexibilidad para modificar la capacidad de producción dedicada a cada producto. La empresa trabaja en base a programas anuales y cada año sus ejecutivos deben decidir qué parte de la capacidad de producción de la planta dedicarán a cada producto. Una de las mayores incertidumbres es el nivel de ventas que se alcanzará en cada producto: las ventas son afectadas por la presencia de nuevos competidores y las condiciones de la economía. Los productos tienen diferentes márgenes de contribución a la empresa y las opciones de adecuación de las instalaciones tienen costos diferentes. La empresa desea maximizar sus ingresos anuales.

6.1 Modelo maestro del ejemplo

El diagrama de influencia que representa al modelo maestro para la familia de decisiones anuales sobre la mezcla de producción se presenta en la Figura 1. Los eventos inciertos están representados con óvalos, las decisiones con cuadros y el nodo de valor con un cuadro redondeado. Las flechas que llegan a un óvalo significan relevancia o influencia, las que llegan a un cuadro significan información y las que llegan al nodo de valor significan impacto. Más adelante se describe cada uno de los nodos del modelo maestro, sus sucesos o alternativas, y sus relaciones con otros nodos; las descripciones se han agrupado por tipo de nodo.

Nodos con flecha de información hacia una decisión (información conocida)

Margen de Contribución de A y Margen de Contribución de B. Los sucesos de estos nodos son los porcentajes típicos (con respecto al precio total) del precio total unitario neto menos el costo unitario promedio de cada producto.

Nuevos Competidores de A y Nuevos Competidores de B. En estos nodos ocurre el suceso "Si" cuando existe al menos un nuevo competidor, en el mercado que atiende la compañía, para el producto A o B. Si este no es el caso, ocurre el suceso "No". El efecto del suceso está en la distribución de probabilidad del nodo *Participación de mercado de A* o del nodo *Participación de mercado de B*, según sea el caso.

Reporte Económico. Este nodo corresponde a una calificación de las perspectivas económicas para el próximo año según el reporte que emite el Centro de Estudios

Económicos de Sector Privado en el tercer trimestre del año. Las perspectivas se califican como “optimistas”, “neutrales” o “pesimistas”.

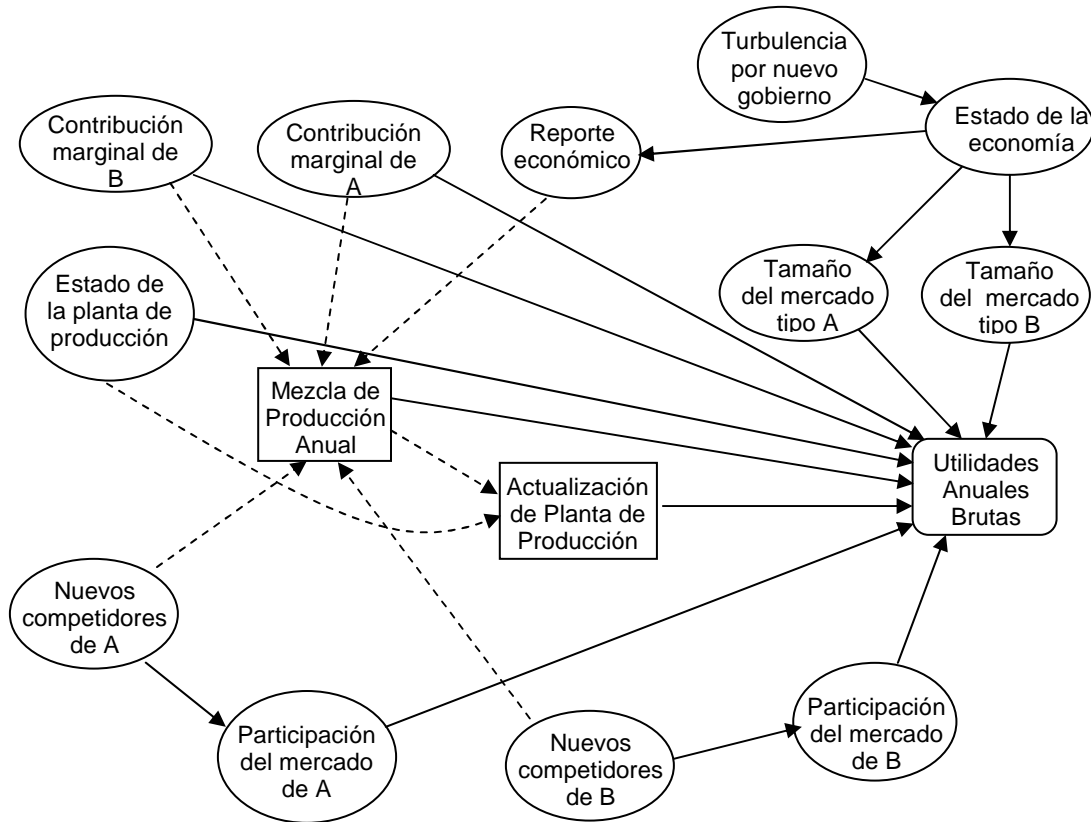


Figura 1. Ejemplo de modelo maestro de decisión.

Estado de la Planta de Producción. Este nodo incluye los sucesos "no requiere mantenimiento especial", "requiere mantenimiento especial" y "requiere actualización". Los sucesos se definen en función del estado del equipo y su grado de actualidad.

Nodos sin flecha de información hacia una decisión

Estado de la Economía. Este nodo se refiere al crecimiento económico del país durante el año para el que se planea. Sus sucesos son el porcentaje de crecimiento (o decrecimiento) de la economía determinado en base al Producto Interno Bruto (PIB) del país. El nodo de "Reporte económico" es un indicador imperfecto del estado de la

economía. Para cada suceso del nodo "*Reporte económico*", existe una distribución de probabilidad de los porcentajes de crecimiento del PIB.

Turbulencia por Nuevo Gobierno. Este nodo representa el efecto de una nueva administración federal en el crecimiento económico. Los sucesos de este nodo son "alta", "media", "baja" y "ninguna". Cada suceso, en combinación con los sucesos del nodo "*Reporte de la economía*" está asociado a una distribución de probabilidad del nodo "*Estado de la economía*".

Tamaño del Mercado de A y Tamaño del Mercado de B. Estos nodos representan la cantidad total, en pesos, del mercado para cada uno de los productos. En cada nodo se estima el total de ventas de la compañía y sus competidores. Cada distribución de probabilidad del total de los mercados está condicionada en los sucesos de "*Estado de la economía*".

Participación de Mercado de A y Participación del Mercado de B. Estos nodos representan la participación de mercado de cada producto y sus sucesos son el número de puntos porcentuales del mercado que cada producto realmente obtendrá el próximo año.

Nodos de decisión

Mezcla de Producción Anual. Esta es la decisión principal y tiene tres alternativas, que expresadas en términos del porcentaje de la capacidad instalada dedicada al producto A son: "25%", "50%" y "75%". Esta decisión tiene un impacto en el nodo de valor debido a los diferentes costos implicados por las diferentes mezclas de producción. La alternativa seleccionada en este nodo es conocida al momento de tomar la decisión de actualización de la planta.

Actualización de Planta de Producción. Esta decisión se refiere a la renovación de equipo e instalaciones de producción. Tiene cuatro alternativas: "no actualización", "actualización menor", "actualización mayor de equipo" y "actualización de equipo e instalaciones". La decisión de actualización de la planta de producción tiene un impacto en el nodo de valor debido al costo que la posible actualización representa.

Nodo de valor

Utilidades Brutas Anuales. El objetivo del análisis es seleccionar las alternativas que maximicen la utilidades brutas anuales. Estas utilidades dependen, por el lado de los ingresos, del tamaño de los mercados y la participación de la empresa en ellos, así como de la contribución marginal de cada producto. Por el lado de los costos depende de los costos de producir la mezcla seleccionada dado el estado actual de la planta, más los eventuales costos de actualización de la planta.

6.2 Metamodelo de decisión del ejemplo

El metamodelo tiene el propósito de permitir identificar la situación particular como un miembro modelable de la familia de decisiones, y especificar las circunstancias en las que se activan los elementos del modelo maestro. En la Figura 2 se presenta un diagrama de flujo del metamodelo. Enseguida se presenta la especificación de la situación (que también es parte del metamodelo) y más adelante se explica la operación del diagrama de flujo.

A. Especificación de la situación

Este modelo reusable sirve para situaciones en las que la compañía "X" decide respecto a la mezcla de producción que utilizará el año próximo (enero-diciembre). La decisión generalmente se toma a principios de octubre ya que se deben establecer los acuerdos con los proveedores en base a la mezcla que se decida.

La compañía produce sólo dos artículos, que llamaremos A y B. Su planta de producción tiene suficiente flexibilidad para ser utilizada para fabricar 50% de cada artículo o 75% de un artículo y 25% del otro: tres alternativas básicas. Se pueden producir otras mezclas, pero el aumento de costo por capacidad no aprovechada hace que generalmente la empresa no las considere.

Durante el año, el equipo de la planta de producción sufre algún deterioro y puede requerir mantenimiento o inclusive requerir actualización. Esta decisión se toma después de decidir sobre la mezcla de producción (la mezcla afecta la intensidad de uso de algunos equipos).

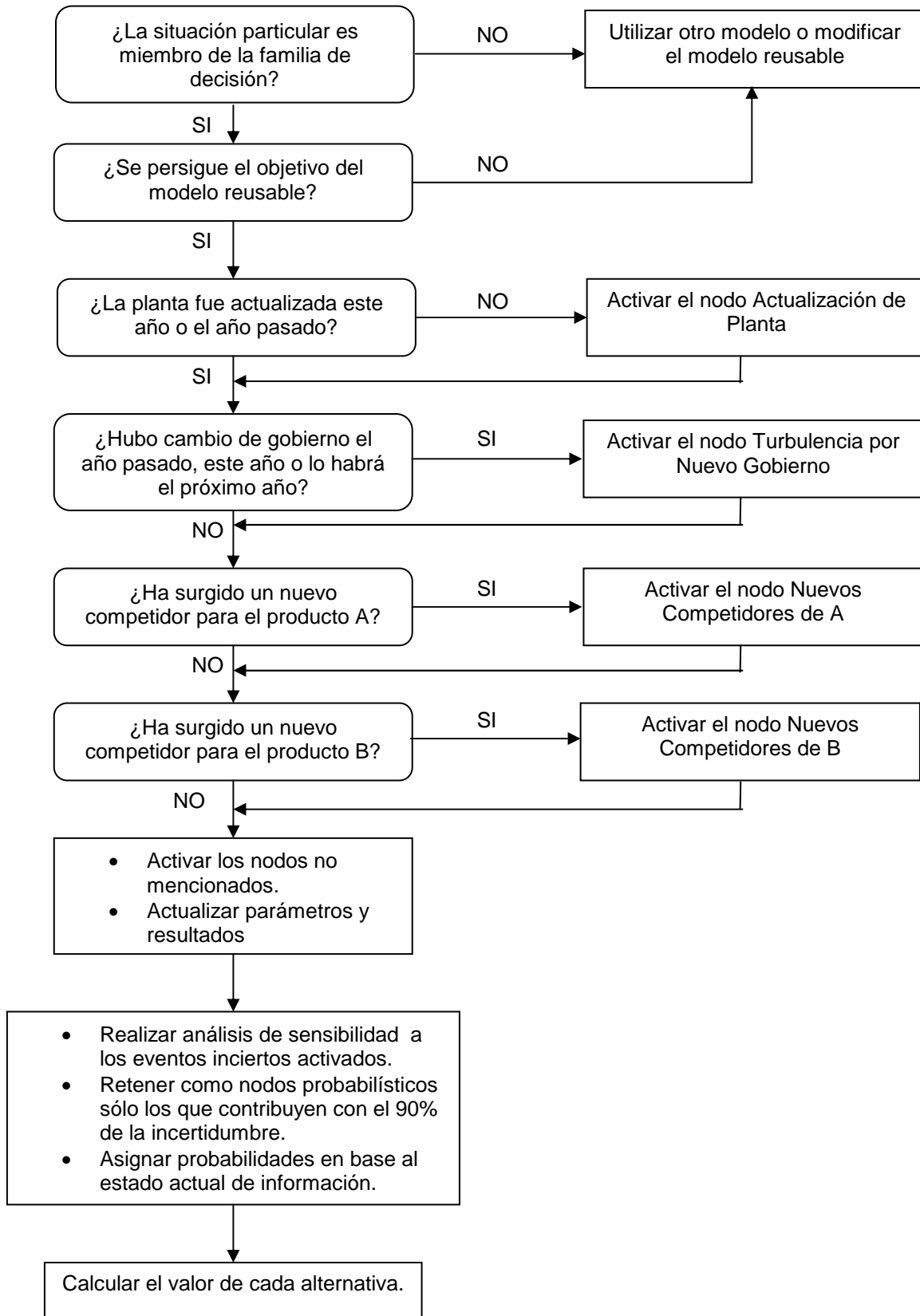


Figura 2. Ejemplo de Metamodelo de Decisión

El **objetivo de este modelo** reusable es ayudar a seleccionar la alternativa que maximice las utilidades brutas de la empresa para el próximo año.

B. Activación de elementos del modelo maestro

El modelo maestro está expresado en un diagrama de influencia con dos decisiones, seis incertidumbres que no se resuelven, seis valores que se conocerán antes de tomar una decisión, y el nodo de resultados.

Para este modelo maestro existen cuatro elementos sobre los que se requiere decidir sobre su inclusión en cada situación particular. Estos elementos y los criterios de decisión son:

(a) Decisión: Actualización de planta de producción. Si la planta fue actualizada este año o el año pasado, no se incluye la decisión de actualizar la planta el próximo año. El estado de la planta de todos modos afecta el nodo de valor debido a su impacto en los costos de producción.

(b) Incertidumbre: Turbulencia por nuevo gobierno. Este nodo sólo se incluye si en el año para el que se está planeando, o en el año inmediato anterior o posterior, habrá cambio de gobierno federal. De no ser así, el nodo y su flecha de relevancia desaparecen.

(c) Incertidumbre: Nuevos competidores de A. Este nodo sólo se incluye si ha surgido al menos un nuevo competidor para el producto A. Si no es así, se elimina el nodo y las flechas que emanan de él, y se estima la participación de mercado de A considerando los competidores habituales.

(d) Incertidumbre: Nuevos competidores de B. Se procede en forma similar a lo indicado para el producto A.

Todos los otros nodos se espera que estén presentes cada año.

7. Ventajas y retos de los modelos reusables

7.1 Ventajas de los modelos reusables

Algunas de las ventajas de los modelos reusables de decisión son (Ley Borrás 1998):

Disminución del costo del análisis de decisiones. Los ahorros se logran debido a que se parte de un modelo general que sólo debe ser particularizado; desde luego, desarrollar un modelo reusable tiene un costo mayor que desarrollar un modelo para una situación particular, pero en conjunto se consigue una disminución del costo unitario de análisis. La disminución del costo hace accesible el análisis de decisiones a un mayor número de individuos y empresas.

Mayor beneficio e independencia para los decisores. Los decisores no adquieren la solución a sólo un problema, sino la solución a una familia de problemas y, si lo desean, el entrenamiento para usar ellos mismos esa solución.

Incremento en la eficiencia de los analistas de decisiones. Las empresas pueden aumentar la eficiencia de los analistas trabajando en determinados sectores (por ejemplo industria petrolera ó servicios bancarios) o en determinados procesos (por ejemplo adquisición de tecnología o establecimiento de estrategias de venta) utilizando modelos reusables de decisión.

Capacitación de analistas. La utilización por los nuevos analistas de los modelos reusables de decisión desarrollados por analistas más experimentados puede facilitar la capacitación de nuevos analistas de decisiones en campos profesionales específicos.

Auxiliar didáctico. Los modelos reusables de decisión pueden servir de guía a los estudiantes para realizar sus primeras aplicaciones reales complejas.

7.2 Retos que presentan los modelos reusables

Algunos retos que se enfrentan al desarrollar modelos reusables son:

Se requiere más imaginación para elaborar un modelo reusable que para crear un modelo particular. El modelo maestro debe incluir no sólo todos los elementos

importantes en el caso particular que se enfrenta (o el caso en el que se espera usar por primera vez el modelo) sino elementos de situaciones que no están presentes y que, por lo tanto, deben ser imaginadas antes de ser modeladas.

Se requiere un nivel de abstracción más alto para modelar eventos inciertos. En un modelo particular sólo se debe identificar la relevancia en variables que están presentes y que posiblemente estén cuantificadas. En un modelo reusable se debe no sólo identificar otros eventos inciertos sino también determinar la relevancia entre ellos.

Se requiere verificar si el enmarcamiento del problema es todavía el adecuado. Emitir este juicio puede ser muy fácil si en el análisis de la decisión particular están involucrados el mismo decisor y analista que desarrollaron el modelo reusable: su conocimiento del modelo los alertaría ante un cambio substancial en la situación de decisión. Sin embargo, si el analista, el decisor o ambos han cambiado, se debe verificar, apoyándose en el metamodelo, la aplicabilidad del modelo reusable.

Conclusiones

El análisis de decisiones tradicional ha sido aplicado con éxito a grandes decisiones y es usado regularmente por empresas y organizaciones líderes. Sin embargo el costo de realizar el análisis, incluyendo el tiempo de los analistas de decisiones y de los ejecutivos con que trabajan, hace que esta disciplina no esté al alcance de muchas empresas que podrían beneficiarse de ella.

Los modelos reusables de decisión hacen más eficiente y económico el análisis de decisiones y, consecuentemente, ponen esta herramienta al alcance de organizaciones de menor tamaño y facilita su uso cotidiano en grandes empresas. Con este nuevo enfoque de análisis de decisiones se logra una economía de escala y una mayor comprensión de la familia de situaciones de decisión. Este trabajo constituye una guía para el desarrollo del modelo maestro y del metamodelo de decisión que integran cada modelo reusable de decisión.

Los modelos reusables de decisión pueden verse como una plantilla "inteligente" para abordar problemas complejos similares; su uso aumenta la eficiencia de los analistas de

decisiones, genera beneficios directos a los clientes y además contribuye a la formación de las nuevas generaciones de especialistas en análisis de decisiones.

Una versión previa de este enfoque fue utilizado para ayudar a una empresa a seleccionar medios de publicidad (Oficial Ramírez 1998, 1999) y para ayudar a productores agrícolas a decidir sobre canales de distribución (Romero Galicia y Ley Borrás 1998), (Romero Galicia 1999)). Actualmente se están desarrollando modelos reusables para abordar familias de decisiones en el ámbito industrial; las aplicaciones incluyen decisiones sobre adquisiciones de bienes de capital, selección de estrategias de venta y determinación de niveles de producción bajo condiciones de incertidumbre. Se espera que las ventajas de este enfoque sean aprovechadas por un creciente número de empresas y organizaciones.

Bibliografía

- Applied Decision Analysis (1996), *DPL: Decision Programming Language*, Menlo Park, Cal.
- Clemen, Robert (1996), *Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis*, Duxbury Press.
- Hammond, John S., Ralph L. Keeney, Howard Raiffa (1999) *Smart Choices: A Practical Guide to Making Better Decisions*, Harvard Business School Publishing, EUA.
- Howard, Ronald A. (1988), "Decision Analysis: Practice and Promise", *Management Science*, Vol. 34 No. 6.
- Keeney, Ralph L. (1992) *Value Focused Thinking*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Kirkwood, Craig W. (1997) *Strategic Decision Making: Multobjective Decision Analysis with Spreadsheets*, Duxbury Press, Belmont, California.
- Ley Borrás, Roberto (2001), *Análisis de Incertidumbre y Riesgo para la Toma de Decisiones*, libro a ser publicado.
- Ley Borrás, Roberto (2000), *Guía para el Desarrollo de Modelos Reusables de Decisión*, Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Ver.
- Ley Borrás, Roberto (1998a), "Principios para el Desarrollo de Modelos Reusables de Decisión", *Revista UPIICSA*, Nueva Época, Año 6, Núm. 16, enero-abril 1998.
- Ley Borrás, Roberto (1998b), "Using Decision Frames in NAFTA Intranational Conflicts", *Policy Studies Review*, vol. 15 Núm. 2/3, pp. 101-115.
- Ley Borrás, Roberto (1996), "Representación del Conocimiento en Análisis de Decisiones", *Revista UPIICSA*, Nueva Época, Año 4, Núm. 9, enero-abril.

- Matheson, David y Jim Matheson (1997) *The Smart Organization: Creating Value through Strategic R&D*, Harvard Business School Publishing, EUA.
- McNamee, Peter y John Celona (1990), *Decision Analysis with Supertree*, 2a. edición, The Scientific Press, San Francisco.
- Oficial Ramírez, Gustavo (1998), *Modelo Especializado de Decisiones para Selección de Medios de Publicidad*, Coloquio 1998 de Aplicación e Investigación en Ingeniería Industrial.
- Oficial Ramírez, Gustavo (1999), *Desarrollo de Modelos Especializados de Decisión para Seleccionar Medios de Publicidad*, Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Romero Galicia, Yolanda (1999), *Desarrollo de un Modelo Especializado de Decisión para Productores de Chayote*, Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Romero Galicia, Yolanda y Roberto Ley Borrás (1998), *Modelos de Decisión para Productores de Chayote de la Región de Orizaba, Veracruz*, Coloquio 1998 de Aplicación e Investigación en Ingeniería Industrial.

Acerca del Autor

Roberto Ley Borrás es Profesor Investigador y Director del Grupo de Investigación en Análisis de Decisiones del Instituto Tecnológico de Orizaba. El Dr. Ley obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería de Sistemas Económicos en Stanford University (California) con concentración en análisis de decisiones, el de Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial en Lehigh University (Pennsylvania), el de Maestro en Ciencias en Análisis de Decisiones en Stanford University, y el de Ingeniero Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba, entre otros estudios. E-mail: rley@decidir.org
Sitio de internet: <http://decidir.org>