

Toma de decisiones multicriterio un panorama conceptual

LUIS GERARDO ASTAIZA AMADO
Ingeniero Mecánico
M. Sc. Ingeniería de Sistemas
Profesor Asociado

LUIS ROBERTO OJEDA CH.
Ingeniero Mecánico
M. Sc. Computación UCLA
Profesor Asistente

INTRODUCCION

Un ejemplo sencillo de situaciones que involucran objetivos múltiples y usualmente en conflicto sería lo siguiente:

Un hombre sale de casa para dirigirse al trabajo, teme llegar tarde y razona sobre el medio de transporte que debe utilizar el "trolley" circula frecuentemente pero lleva mucho tiempo; el bus circula más rápidamente, pero en grandes intervalos.

Por supuesto, puede tomar un taxi, pero saldrá caro. Otra solución: cubrir parte del viaje en "trolley" y luego tomar un taxi. Pero en el sitio de intercambio puede no haber taxis disponibles y si se va a pie desde allí al trabajo se corre el riesgo de llegar más tarde que en caso de esperar el bus.

¿Qué decisión tomar?

Hay dos criterios orientadores: 1.) El promedio de tiempo de retraso T esperado que se debe **minimizar** 2.) El costo del transporte esperado S , que también se ha de **minimizar**. Es claro que ellos son incompatibles y que debe buscarse (discriminarse, en lo posible matemáticamente) un compromiso aceptable.

Tanto las herramientas de teoría de la decisión como las de programación matemática (lineal, no lineal, geométrica y dinámica) al considerar problemas del mundo real excluyen aquellos que implican objetivos múltiples y en conflicto. Virtualmente la mayoría de los problemas reales encierra objetivos múltiples y **esta limitación** puede tener un impacto muy serio sobre la validez de los resultados obtenidos.

Afortunadamente han surgido nuevas metodologías para analizar decisiones con objetivos múltiples y usualmente en conflicto, que es necesario plantear en aquellas áreas que preparan profesionales que habrán de enfrentar tales problemas: Ingeniería de Sistemas, Industrial, Economía, Gestión y Administración de Empresas, etc.

Precisamente el objetivo fundamental de este artículo es dar un punto de partida sobre análisis de decisión con objetivos múltiples.

Aplicaciones recientes de estas metodologías en países industrializados incluyen: Modelos para el manejo de recursos de agua y energía, administración hospitalaria, planificación de la producción, decisión financiera, etc.

Al considerar su aplicabilidad a la solución de problemas que se presentan en nuestro medio se estará abriendo un campo muy fértil para la investigación.

PERSPECTIVA HISTORICA

La investigación de operaciones como enfoque científico de la toma de decisiones nace en los escenarios militares de la segunda guerra mundial. A partir de entonces se ha desarrollado y aplicado una variedad de herramientas matemáticas en problemas de ingeniería, negocios, gobierno, economía, ciencias naturales y sociales. Primero se le aplicó en la logística estratégica para vencer al enemigo (teoría de juegos); más tarde en la logística de distribución de todos los recursos militares de los aliados dispersos por todo el mundo.

Para este último problema la fuerza aérea norteamericana a través de la corporación RAND, comisionó a un grupo de matemáticos para resolverlo, dado que estaba consumiendo enormes recursos humanos, financieros y materiales.

En 1947 el Doctor George Dantzig resumiendo el trabajo, inventó el método simplex, con lo que se dio inicio a la programación lineal.

Con el avance en la computación digital se extiende la cobertura de la investigación de operaciones; así, en el decenio de 1950 se desarrollan: a.) La programación dinámica (Bellman) b.) La programación no lineal (Kuhn y Tucker) c.) La programación entera (Gomory) d.) Redes de optimización (Ford y Fulkerson) e.) Simulación (Markowitz) f.) Inventarios (Arrow, Karlin, Scant, Whitin) g.) Análisis de decisiones (Raiffa) h.) Procesos Markovianos de decisión (Howard) i.) Una generalización de la investigación de operaciones han tratado de realizar Churchman, Ackoff y Arnoff.

Estos desarrollos, en general, comparten una característica común: la formulación de un criterio, o función, objetivo único y la optimización de este objetivo sujeto a un conjunto de restricciones prescritas.

En las dos últimas décadas ha existido un interés creciente en la necesidad de identificar y considerar varios objetivos especialmente cuando se estudian sistemas de tamaño apreciable.

Hoy puede afirmarse que la vida humana gira en torno a dos polos: los hábitos y las decisiones. Los primeros representan el mundo del automatismo, repetición y rutina; son los caminos trillados, la inercia, las cosas "que caen por su propio peso" lo que "siempre ha sido así".

Las decisiones son todo lo contrario: el alto en el camino, lugar de la "y griega" (literal... y figurativamente) que hace reconsiderar la ruta. Es el momento de considerar y ponderar las alternativas, el momento dramático de escoger o desechar perspectivas. Si para una persona su calidad de vida puede depender para bien o para mal de una sola decisión tomada en un momento, para todo un conglomerado puede ocurrir exactamente lo mismo. Fue trascendental por ejemplo la decisión de Cristóbal Colón el 9 de octubre de 1492 rechazando el fracaso de su expedición y el regreso a Europa.

Si bien no conocemos completamente las alternativas de solución ni los criterios aplicados para configurar la expedición del descubrimiento (y bien merecería un análisis en retrospectiva, con las herramientas de análisis de hoy), es cierto que allí, como en todos los grandes logros de la humanidad, se ha tratado de llegar a la decisión por caminos racionales, o por lo menos y muy en el pasado, dándole todo el peso de los conocimientos y creencias de la sociedad.

Tal era el caso de las consultas al oráculo de Delfos que realizaban los griegos para comprometerse en acciones de importancia.

ALGUNOS EJEMPLOS CON CRITERIOS MULTIPLES

- a. Se organiza una empresa industrial. Bajo el ángulo de qué criterio se debe escoger una solución: Por un lado, deseáramos maximizar la producción global. También sería deseable un beneficio neto máximo D . En lo que se refiere al costo S sería deseable minimizarlo, en tanto que la producción del trabajo P se podría maximizar.

Al ponderar el problema pueden surgir una serie de criterios suplementarios.

- b. En la elección de localidad para un aeropuerto objetivos que se podrían optimizar serían, entre otros: Costos de construcción, costos de mantenimiento, capacidad, tiempo de acceso para usuarios, implicaciones sociales, contaminación por ruido, etc.
- c. En la política personal de ubicarse profesionalmente (consecución de trabajo o actividad permanente) existirán objetivos materiales para optimizar: ingresos, costo de vida y alojamiento, salubridad, facilidad de acceso a vida social adecuada, existirán también objetivos profesionales: posibilidad de actualización y aun, de mejoramiento, adecuación del trabajo la formación profesional recibida y, lógicamente, existirán proyecciones culturales como objetivos: facilidad de acceso a centros de educación en todos los niveles, posibilidad de realización de aptitudes no estrictamente profesionales.

Es obvio que en este como en otros casos (p.e.a.) el marco de apreciación puede variar en el curso del tiempo. Por ejemplo, un joven profesional puede no resentir en los primeros años un alejamiento de actividades culturales compartidas que luego, con la evolución familiar, serán importantes (cercanía de un conservatorio, de una escuela de artes, etc.)

TECNICAS EN CRITERIOS MULTIPLES

El desarrollo del análisis multiobjetivo como respuesta al planteamiento de múltiples criterios se inicia con la construcción de un criterio único a partir de criterios inconmesurables realizado por Pareto en 1886.

El concepto de "optimalidad de Pareto" encontró su aplicación en la Investigación de Operaciones en el trabajo realizado por Koopmans (1951) en relación con el análisis de actividades de producción y asignación, y en el trabajo de Markowitz (1959) en la selección del portafolio.

En 1961 se desarrolló el concepto de programación meta en el trabajo de Charnes y Cooper, técnica ampliada y refinada en el trabajo de Ijiri (1965) y Jaaskelain (1969).

En 1972, Song M. Lee publica el primer texto dedicado a la programación meta, seguido por el texto de J.P. Ignizio (1976).

En 1982 aparece la obra de Ambrose Goicoechea, Don R. Hansen y Lucien Dickstein, dedicada a la programación multiobjetivo.

En lo que respecta a la programación meta, actualmente existen modelos y técnicas de solución para programación lineal, no lineal y entera, así como herramientas para efectuar análisis de sensibilidad y aplicación del concepto equivalente a dualidad.

ESCENARIO DE LA TOMA DE DECISIONES

A veces se identifica toma de decisiones con la acción de elegir entre varias alternativas. Esta es una interpretación estrecha del concepto. La toma de decisiones es un proceso racional que llena toda la actividad de solución de problemas. La mayoría de los investigadores generalmente asumen un escenario para la toma de decisiones, escenario que podría tener tres fases:

1. Fase de diseño de políticas: se llega a un acuerdo de lo que es el problema, sistemas de valor, suposiciones, métodos básicos para interpretar evidencia, resultados (metas y objetivos) esperados por los clientes y planeadores. Se inicia la búsqueda y generación de alternativas.

Es la percepción y definición del problema

Figurativamente el médico frente a una temperatura elevada del paciente no administrará sólo aspirinas sino que comprenderá que la fiebre alta puede ser síntoma de una serie de trastornos biológicos y no descansará hasta determinar qué la ocasiona.

2. Fase de evaluación: consiste en la valoración de las diferentes alternativas propuestas para determinar el grado al que se satisfacen metas y objetivos.

Esto implica identificación de salidas, atributos, criterios, escalas de medición, modelos y disponibilidad de datos. Sin estos la decisión sería casi una adivinanza.

Se precisará si es un problema actual, surgido en forma reciente, o si es fruto de desarrollos anteriores. Se escucharán criterios de personas con experiencia relacionadas con el problema específico. Se obtiene un marco de dimensionamiento real para la evaluación.

2. Fase de acción-implementación: Es, tal vez, la más difícil y frustrante.

Muchas decisiones fracasan por una ejecución deficiente. En algunos casos, porque no se logró con anterioridad su aceptación por parte de las personas responsables de su ejecución.

La presencia de personas claves en la deliberación y durante el proceso de formulación de alternativas permite asegurar mejores resultados a la hora de convertir la decisión en acción eficaz. El que decide debe prestar mucha atención a la fase de ejecución y establecer procedimientos que permitan su seguimiento adecuado. Si las cosas no funcionan en forma prevista, debe estar en condiciones de introducir los ajustes correspondientes.

CICLO DE ANALISIS DE DECISIONES

Operativamente estará ligado con el escenario anterior un conjunto de tres fases: Determinística, Probabilística e Informativa denominado el ciclo de análisis.

1. Fase determinística: relacionada con la estructuración básica del problema. Implica, sobre la definición de las variables importantes, la caracterización de sus relaciones en modelos formales. La importancia de las diferentes variables se mide a través del análisis y pruebas de sensibilidad.

En esta fase no se toma en cuenta la incertidumbre.

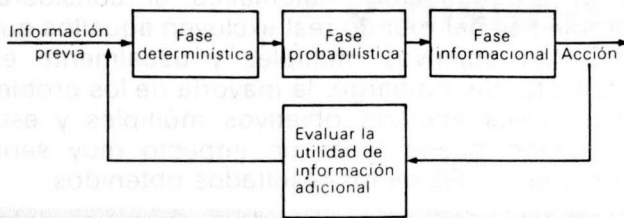
2. Fase probabilística: se considera la realidad en las variables importantes asignándoles distribuciones de probabilidad plausibles. Incorporadas estas distribuciones al modelo, reflejan la incertidumbre en el resultado a través de una distribución de probabilidad.

3. Fase informativa: determina el valor económico de la información al evaluar el costo de reducir la incertidumbre en cada una de las variables

importantes del problema.

Se puede comparar el valor de la mayor precisión con el costo de obtención de información. Si es rentable, se pueden repetir las tres fases. El análisis termina cuando el problema analítico deja de ser rentable. Se puede hablar de una "calidad de la decisión".

El ciclo se puede resumir en la siguiente figura:



INDICE PARA MODELOS DE TOMA DE DECISIONES

El producto de los dos apartes anteriores se puede clasificar dentro de las siguientes categorías de una frase:

- 1. Modelos de intercambio:** que proporcionan métodos para comparar y evaluar sustituciones de medios y fines.
- 2. Modelos de optimización:** que abarcan la solución de sistemas totales para lograr un óptimo local.
- 3. Modelos de juicio o exclusión:** se integran indicaciones en juicios globales o compuestos.
- 4. Modelos de sistemas de investigación o modelos epistemológicos:** describen como puede validarse la verdad, en el contexto de un método de razonamiento particular.
- 5. Modelos de diagnóstico:** describen procedimiento de investigación sistemática en casos de funcionamiento defectuoso de sistemas.
- 6. Modelos de decisión de objetivos único y multiobjetivo:** permiten evaluar y clasificar alternativas complejas.

CLASIFICACION DE LOS MODELOS MULTI OBJETIVO

Se han propuesto varias clasificaciones. Una está basada en la manera de procesar atributos para llegar a una elección. Se consideran modelos compensatorios y no compensatorios.

Modelos no compensatorios son los que no permiten intercambios entre los atributos que optimizan.

Los resultados se juzgan atributo por atributo y la caracterización multidimensional no es amalgamable en un solo número de utilidad.

Estos modelos comprenden:

- Modelos de dominación
- Modelos de satisfacción
- Modelos lexicográficos

- Modelos maximin
- Modelos Maximax

Modelos compensatorios son los que permiten relacionar los atributos. En ellos una sola utilidad se asocia a cada característica multidimensional correspondiente a una alternativa. Para este caso el procedimiento consiste en:

- Cuantificar todos los valores de los atributos en una escala comparable para todas las dimensiones.
- Asignar pesos de importancia relativa a los valores de los atributos para reflejar su influencia en la utilidad total.

Entre los modelos compensatorios podemos tener:

- Modelos de utilidad aditiva.
- Modelos de utilidad configural.
- Modelos de representación espacial.
- Modelos de programación matemática, excepto la programación-meta, que se puede mirar como no compensatorio.

Una segunda clasificación de los modelos multiobjetivo está basada en:

1. La naturaleza de los resultados: determinísticos vs. estocásticos.
2. La naturaleza de los mecanismos de generar alternativas según las restricciones que las limiten sean explícitas o implícitas.

Una tercera clasificación podría estar basada en la participación de quien toma la decisión en el proceso de solución: ya sea antes, durante o después del análisis (HWANG).

Finalmente está la clasificación sugerida por (Ho) (3) basada en los tipos de información requeridos por el grupo de decisión.

ALGUNAS CONSIDERACIONES MATEMATICAS EN LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

El término multicriterio describe todos los elementos de decisión cuantitativos en los que existen múltiples medidas de solución. Se les puede descomponer en optimización multiobjetivo, la que se refiere a problemas con un número grande de alternativas factibles, y teoría de la decisión multicriterio, la que se refiere a problemas con un número pequeño de alternativas factibles.

El problema general de optimización multiobjetivo se puede formular como:

“maximizar” $F(X)$
Sujeto a $G(X) \leq 0$

Donde X es el vector de variables de decisión, $F(X)$ es el vector de objetivos para ser maximizado “maximizar” debe interpretarse como seleccionar el vector más preferido de los valores de las funciones objetivo $F(X)$, pues maximizar un vector no es operación bien definida.

Muchas técnicas existentes para encontrar este

vector preferido hace uso del sentido común:

Dominación: la solución 1 domina a la solución 2 si $F(X_1) \geq F(X_2)$ cumpliéndose la estricta desigualdad por lo menos para una componente de F .

Ponderación y clasificación: un enfoque obvio: especificar un peso W_i que representa la importancia de la i -ésima función objetivo.

Resolver

$$\begin{aligned} \max \sum_i w_i f_i(x) \\ \text{sujeto a } G(x) \leq 0 \end{aligned}$$

Prioridades

La mayoría de los problemas de optimización multiobjetivo, además de objetivos múltiples y en conflicto, tienen una jerarquía de objetivos.

Luego una forma de solución es asignar prioridades a los objetivos y luego optimizarlos en ese

Metas, niveles de aspiración, etc.

Se establecen valores meta para cada uno de los objetivos. Se pueden dar de dos formas: en un extremo tendremos el establecimiento de valores mínimos con los que estará satisfecho el grupo de decisión.

En el otro extremo están los objetivos ideales con desplazamiento y penalidades al fallar el logro de metas.

CONCLUSIONES

Este artículo es un intento de presentar un panorama conceptual del campo relativamente nuevo de la toma de decisiones multicriterio.

La mayoría de las técnicas de teoría de la decisión y la programación matemática al considerar problemas del mundo real excluyen aquellos que implican objetivos múltiples y usualmente en conflicto. Sin embargo, la mayoría de los problemas reales encierra objetivos múltiples y esta limitación puede tener un impacto muy serio sobre la validez de los resultados obtenidos.

Afortunadamente han surgido nuevas metodologías con objetivos múltiples que es necesario plantear en aquellas áreas que preparan profesionales que habrán de enfrentar tales problemas. Ingeniería de Sistemas, Industrial, Economía, Administración de Empresas, etc.

Precisamente las técnicas en mención han sido utilizadas con relativo éxito en países industrializados. Sin embargo, es conveniente iniciar un campo de investigación que evalúe la aplicabilidad en países en desarrollo como el nuestro.

BIBLIOGRAFIA

1. COHON, J.L. **Multiobjective Programming and Planning**. New York Academic Press, 1978.
2. GOICOHEA A., HANSEN, D. DUCKSTEIN, L. **Multiobjective decision analysis with engineering and business applications**. New York, 1982.
3. HO, J.L. **Multiple criteria optimization: A unified framework**. University of Tennessee, Management Science Program, 1980.
4. HWANG, C.L. MASUD, A.S.M. PAIDY S.R. YOON, K. **Multiple objective decision making: methods and applications**. New York, Springer - Verlag, 1979.
5. HUBER, GEORGE P. **Toma de decisiones en la gerencia**. Ed. Trillas, 1984.
6. KEENY R. L. RAIFFA H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**. New York: Wiley, 1976.
7. MOSKOWITZ HERBERT Y GORDON P. WRIGHT **Investigación de operaciones**. Prentice Hall, 1982.
8. PRAWDA, JUAN. **Métodos y modelos de investigación de operaciones**. Vol. 1 y 2, Ed. Trillas, 1981.
9. ROSENTHAL RICHARD E. **Concepts, Theory and Techniques Principles of Multiobjectives Optimization**. Decision Sciences, 1985, 16-2, 133-152.
10. VAN GIGCH, P. **Teoría general de sistemas aplicada**. Ed. Trillas 1981.
11. VENTSEL ELENA A. **Investigación de operaciones**. Ed. Mir, Moscú, 1980.
12. ZELENY M. **Multiple Criterion Decision Making** Englewood, Clifes, N.J. Prentice-Hall, 1982.
13. ZIONTS, S. (ED.). **Multiple criteria problem solving. Proceeding**. Bufallo, N.Y. (USA) New York: Springer Verlag, 1978.