

0826

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

ADECUACION DE UN PROGRAMA DE COMPUTO  
PARA ANALISIS DE DECISIONES

TRABAJO QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERIA (PLANEACION)

PRESENTA:

RAFAEL SANCHEZ VALDEZ

Tesis  
1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPMI

T. UNAM  
1 9 8 4  
SAN

# I N D I C E

## INTRODUCCION

1.	ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORIA DE DECISIONES CON OBJETOS MULTIPLES.	1
2.	PARADIGMA DE ANALISIS DE DECISIONES EN TEORIA DE UTILIDAD	4
3.	ESTRUCTURA DE LA TEORIA	6
	i)    Objetivo y atributos	6
	ii)   Preferencias del decisor	7
	iii)  La función utilidad	8
	iv)   Evaluación de la FUM	11
4.	MANEJO DEL PROGRAMA PECFUM (MUFCAP)	15
	i)    Características de la FUM	15
	ii)   Características de las FUNI	15
	iii)  Cálculo de los $k_i$ 's	16
	iv)   Alternativas y análisis de sensibilidad	18
5.	EJEMPLO	20
	i)    Problema del Desarrollo de un Aeropuerto.	20
	ii)   Utilizando el PECFUM para el problema del Aeropuerto	32
6.	CONCLUSIONES	53
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
	ANEXO 1. LISTADO DE COMANDOS DEL PECFUM	59
	ANEXO 2. LISTADO DEL PROGRAMA	67

## INTRODUCCION

La dificultad principal en el planteamiento de un modelo es que su formulación obedezca de manera más o menos aproximada a la realidad de la que fué extraída. El nivel de conceptualización requerido para este proceso está en función de las necesidades de quienes pretendan usarlo. De ahí que la información teórica y práctica existente, sea primordial para la problemática a tratar y, en general, se debe contar con expertos en un área determinada de estudio. Desgraciadamente, o afortunadamente, en la toma de decisiones no es posible tener expertos para cada problema puesto que estos son múltiples.

En este contexto se ha desarrollado la teoría de decisiones con sus paradigmas, sus conceptos, definiciones y principalmente, con su formalización de las actitudes de preferencias básicas del decisor. Dentro de ese marco, ha elaborado una herramienta que representa un fuerte apoyo al analista de sistemas en la formulación de un modelo para la toma de decisiones. Esta herramienta expresada como una Función de Utilidad Multiatributo tiene variadas aplicaciones en el análisis y prescripción de los complejos sistemas a que nos enfrentamos hoy día.

El presente trabajo tiene por objeto adecuar un programa de cómputo que retoma los principales aspectos del análisis de decisiones y que fué realizado expresamente para reducir - los tediosos cálculos que implica la formalización de la - teoría en su parte matemática. Este programa fué introducido en la BURROUGHS con que cuenta actualmente el PUC de la UNAM, teniendo que realizarse cambios sustanciales al programa original, escrito en lenguaje PL/1.<sup>2</sup>

La secuencia utilizada en este trabajo fué la siguiente: - primero se establecieron los aspectos generales de la teoría de decisiones, su definición y su paradigma. Enseguida la forma en que se estructura esa teoría, es decir, la formalización de las actitudes del decisor que lleva a la formulación de la función multiatributo mencionada. Después - se dice cómo se maneja el paquete, el cual establece un diálogo iterativo con el analista, y posteriormente se analiza el problema hipotético del desarrollo de un aeropuerto, mencionando cómo se utiliza la teoría paso a paso. Por último, el mismo problema se maneja con el programa, objeto de este trabajo, para comparar sus ventajas.

Agradezco de manera especial la colaboración, en la parte - de programación, al Ing. Manuel González, Investigador del Instituto de Biología de la UNAM, y al Dr. José de Jesús - Acosta Flores, por su interés y motivación en el estudio de

la parte teórica. Asimismo, mi profundo reconocimiento a -  
los maestros y compañeros de la Maestría que con sus ense--  
ñanzas y su amistad han contribuido a mi formación

RAFAEL SANCHEZ VALDEZ.

## 1. ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORIA DE DECISIONES CON OBJETIVOS MULTIPLES.

El concepto básico fundamental de la teoría de decisiones es tomar las consecuencias que se derivan de determinadas acciones, establecer las posibilidades para los diversos eventos inciertos que se presentan, y combinar esos dos conjuntos de cantidades para, con una metodología dada, llegar a la mejor decisión.

En pocas palabras, diríamos que se tiene un problema de decisiones con objetivos múltiples o multicriterios cuando se requiere obtener varias cosas a la vez, hay varias formas alternativas de conseguir esas cosas, pero con distintas eficiencias para lograrlo y duda acerca del curso de acción a seguir.

Normalmente los problemas los plantean quienes controlan la totalidad o una parte de un sistema organizado. Es deseable que la interacción que el analista establezca con ellos, permita identificar un modelo de decisión de los ya conocidos; o construir uno a partir de la definición clara del problema, de la determinación de sus componentes y de sus interrelaciones. Sin embargo la clase de problemas de este tipo no son nada fáciles de plantear, incluso podríamos afirmar que explicitada la fase de formulación, prácticamente se conoce el modelo a seguir.

Los modelos conocidos a este respecto muestran mas bien semejanzas que diferencias, su representación, aunque pueda resultar

complicada desde el punto de vista matemático, tienen una estructura fundamental muy sencilla. La función que relaciona los componentes del sistema generalmente consiste de un conjunto de reglas (algoritmos) y de operaciones algebraicas mucho muy laboriosas que hace necesario el uso de sistemas de computo para reducir el tiempo y los costos del análisis. Afortunadamente se cuentan con elementos apropiados y este trabajo es un ejemplo de ello.

Los métodos formales más conocidos son el que plantea la teoría de Utilidad y el Electra. Para maximizar la utilidad esperada en teoría de utilidad, por ejemplo, se utilizan arboles de desición y gráficas n-dimensionales de parámetros - utilidades, mientras que el método Electra utiliza matrices donde sus elementos establecen relaciones binarias entre criterios de los atributos y las alternativas posibles sujetas a algunas restricciones.

Ambos métodos pueden establecer incluso diferencias de críterios, según establezcan las características del problema. Por ejemplo. En teoría de utilidad; criterios de max min, max max, de arrepentimiento, de compromiso o de Laplace\*; por citar algunos, 6 en el electra, donde los criterios varían para establecer nuevas relaciones de sobreordenamiento o donde los criterios adicionan nuevas restricciones al problema.

\* Gerez, Dr. Víctor y M. en C. Manuel G. "El enfoque de Sistemas"  
Ed. Limusa, México 1978, pp. 427-462.

Las variaciones que tienen los métodos son el resultado de los problemas a los que se han enfrentado diferentes analistas. Las hipótesis que sustentan esas variaciones han permitido incrementar el nivel de conocimiento, por lo que es posible lograr un acercamiento de la realidad aunque sea de una manera simple.

Esto no quiere decir que se hayan logrado espectaculares avances. Aún queda mucho por hacer. Los métodos como el teoría de utilidad o el Electra muestra todavía muchas deficiencias. Por ejemplo, en teoría de utilidad los métodos para analizar la interdependencia entre atributos son muy imprácticos, las preguntas que hacemos el entrevistado para obtener de él los valores  $K_i$ 's, esto es, la importancia que cada atributo tiene en la función total, son muy sencillas pero generalmente tiene que responder cuestiones tan difíciles como el problema mismo. Esta situación es peor todavía en el Electra, donde el analista simplemente proponer dichos valores sin ningún análisis formal, obrando a partir de sus presentimientos. En este sentido podemos encontrar varias deficiencias que aún no han sido resueltas pero que están ahí para enfrentarlas. Tal vez aplicando los avances de un método en otro, se logren salvar algunas deficiencias, pero en todo caso, las adecuaciones deben partir de la realidad misma que planteen los problemas.

El interés de este trabajo se centra primordialmente en la teoría de decisiones con objetivos múltiples. Desarrollaremos su método y una aplicación hipotética para una mejor comprensión.

El método es simple, consiste en plantear a un decisor una serie de preguntas sencillas, fáciles de entender, para obtener de él una distribución de probabilidad en función de las preferencias de esas acciones. Las preguntas se centran primordialmente en las actitudes de preferencias básicas y deben ser consistentes, de manera tal que esa información permita plantear una función de utilidad específica. Los expertos en teoría de decisiones dicen que es más fácil para el decisor comprender su participación en este contexto, respondiendo esas preguntas hipotéticas, que si se le plantea la compleja situación de su problemática.

## 2. PARADIGMA DEL ANALISIS DE DECISIONES EN TEORIA DE UTILIDAD

No hay conceptos claves que engloben el paradigma del analisis de decisiones pero según Keeney y Raiffa<sup>1</sup>, se sintetizan en 4 pasos.

1. Planteamiento y estructuración del problema. Se supone que hay un solo decisor que conoce a fondo el área de estudio. Aquí se definen objetivos, variables relevantes (atributos) que indican la forma de alcanzar esos objetivos, el

tipo de notación a usar, etc. Posibles eventos a presentar se, alternativas viables, restricciones del problema. En fin, una clara presentación del problema, para lo cual se recomienda colocar las alternativas de interés ordenadamente en un árbol de decisión, en donde algunos nodos estan bajo su control pero otros no, es decir, habrá nodos de decisión y nodos de selección.

2. Análisis de incertidumbre. El decisor asigna probabilidades a las ramas que emanan de los nodos de selección. Esas asignaciones se realizan mezclando varias técnicas basadas en datos empíricos o por modelos de simulación o con evaluaciones subjetivas del decisor. De cualquier manera las asignaciones hechas deben cumplir consistencia interna.
- 3) Análisis de preferencia y utilidad. El decisor asigna valores de utilidad a consecuencias asociadas con trayectorias a través del árbol, donde estas trayectorias describen completamente una consecuencia. Es decir, asigna una preferencia para esa consecuencia en términos de un número que expresa la utilidad cardinal. Esta medida no únicamente refleja el rango ordinal del decisor para diferentes consecuencias sino también sus preferencias relativas para loterías sobre esas consecuencias. Dicha asignación permite utilizar la maximización de la utilidad esperada como el criterio más apropiado para la decisión óptima. En esta parte del análisis se evalúa la función utilidad llamada FUM (función de utilidad multiatributo) que será uti-

lizada a lo largo del trabajo.

4. Análisis de optimización. Se calcula la utilidad esperada para cada una de las alternativas usando la FUM anterior y se realiza un análisis de sensibilidad variando algunos parámetros en las distribuciones de probabilidad para observar su efecto en las utilidades esperadas.

En resumen:

1. Describir la anatomía del problema en términos de un diagrama de árbol.
2. Asignar probabilidades a las ramas de los nodos de Azar.
3. Evaluar los resultados en forma de utilidades.
4. Determinar la estrategia óptima obteniendo la utilidad esperada máxima con análisis de sensibilidad.

### 3. ESTRUCTURA DE LA TEORIA

El proceso de análisis expresado anteriormente sintetiza las características generales de la teoría de decisiones. Para introducirnos en el marco conceptual de dicha teoría, la cual - consideramos importante recalcar, haremos un esbozo esquemático como una mera aproximación.

#### i) OBJETIVOS Y ATRIBUTOS

Hay técnicas para generar objetivos. Para nuestro caso interesan que estén bien definidos, ser alcanzables y poder identificar las variables relevantes. Por ejemplo, el objetivo "reducir las emisiones contaminantes dentro de la Ciudad de Méxi

co", se puede dividir en "reducir las emisiones de dióxido de sulfuro", "reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno" y "reducir las emisiones de partículas en suspensión". Para cada uno de esos objetivos podemos asociar un atributo o medida de efectividad que indique el grado o rango en que puede estar, - por ejemplo, "toneladas de dióxido de sulfuro emitidos por año" "toneladas de óxido de nitrógeno emitidos por año" y así sucesivamente. Es decir, estos atributos deben ser comprensibles y medibles. Comprensible en el sentido de que estan asociados a un objetivo, y medible en el sentido de que es posible obtener una distribución de probabilidad - en una alternativa dada - sobre los niveles de los atributos fijados, y que además el decisor pueda diferenciar sus preferencias ante los niveles -- del atributo.

## ii) PREFERENCIAS DEL DECISOR

Supongamos que se han encontrado los  $n$  atributos y se han descrito las alternativas más factibles, así como las consecuencias de esas alternativas. El problema del decisor entonces, - es seleccionar una de las alternativas, donde cada uno de los atributos tiene un rango o valor, y asignarle a dicha alternativa un índice escalar de preferencia o valor de utilidad, por ejemplo, entre 0 y 1 ó entre 0 y 100. Si en el espacio de consecuencias se pueden establecer estos valores dentro de una función matemática que reúna ciertas características, entonces el problema del decisor ahora es relacionar una de esas acciones o alternativas tal que la función sea máxima.

Existen varias técnicas para determinar la función valor a partir de las preferencias básicas del decisor, y donde las características mencionadas se obtienen bajo ciertas condiciones que hipotéticamente se le plantean a éste\*. El procedimiento es sencillo pero manualmente puede ser muy engorroso, de ahí el interés de este trabajo.

### iii) LA FUNCION UTILIDAD

Una vez que hemos encontrado la función valor, puede ser explotada para obtener una función utilidad que es la que realmente nos interesa. Sin embargo, gracias al avance que ha tenido actualmente la formalización matemática en este campo; un enfoque alternativo que no requiere la evaluación de una función valor, requiere en su lugar la verificación de suposiciones que impliquen una forma específica de la función utilidad. Por ejemplo: se ha demostrado que las condiciones necesarias para establecer una función de utilidad multiatributo (FUM) no requiere más que la consideración de pares de consecuencias, donde solo varía el nivel de dos atributos y los otros permanecen fijos, o de loterías hipotéticas donde solo varía el nivel de un atributo permanenciando los otros fijos. También, que, para la evaluación de la función multiatributo, ó n-atributo, solo se necesitan las evaluaciones de n funciones de utilidad unatributo (FUNI) y n constantes de escala que ponderan el peso que cada una tiene en la función n-atributo (FUM).

Luego, puesto que las funciones de utilidad univariadas son el ingrediente esencial en toda la teoría multivariada que utilizaremos aquí, es importante que el lector asimile algu-

\* Una función valor es una función que asocia un valor  $v(x)$  a cada punto  $x$  en un espacio n-dimensional y se dice que representa la estructura de preferencias al decisor.

nos conceptos inherentes a las funciones de utilidad unidimensional. Para ello debe remitirse a la bibliografía que al final se recomienda, en especial, al libro de Keeney y Raiffa<sup>1</sup>.

Dada la importancia fundamental que tienen las condiciones de independencia en la formulación de las FUMS'S, describiremos a grandes rasgos su definición.

Independencia preferencial: El par de atributos  $(X_1, X_2)$  es preferencialmente independiente de los otros atributos  $(X_3, \dots, X_n)$  si las preferencias entre los pares  $(X_1, X_2)$  dado que  $(X_3, \dots, X_n)$  están fijados, no dependen del nivel que fueron fijados  $X_3, \dots, X_n$ . Esto significa que las interrelaciones entre los atributos  $X_1$  y  $X_2$  no dependen de  $X_3, \dots, X_n$ .

Independencia en Utilidad: El atributo  $X_1$  es independiente en utilidad de los otros atributos  $(X_2, \dots, X_n)$  si las preferencias entre loterías sobre  $X_1$  (esto es, loterías que involucran incertidumbres acerca del nivel de  $X_1$  únicamente) dado que  $(X_2, \dots, X_n)$  están fijos, no dependen del nivel en que fueron fijados estos atributos.

Las dos condiciones se usan para reducir la evaluación de una función de utilidad n-atributos a la evaluación de n funciones de utilidad de un solo atributo asignadas como  $u_1, u_2, \dots, u_n$  y algunas constantes de escala  $K_j$ ;  $j = 1, \dots, n$  para tener una función del tipo  $u(X_1, \dots, X_n) = f[u_1(X_1), \dots, u_n(X_n), K_1, \dots, K_n]$

Además, uno de los resultados más importantes de la teoría de -

utilidad multiatributo establece que una función utilidad es aditiva o multiplicativa si cumple las condiciones enunciadas anteriormente y se expresan como:

$$u(X) = \sum_{i=1}^n K_i u_i(X_i) \quad (1)$$

6

$$1 + KU(X) = \prod_{i=1}^n [1 + KK_i u_i(X_i)] \quad (2)$$

dónde

- i)  $u$  y  $u_i$  son funciones de utilidad escaladas de 0 a 1
- ii) las  $K_i$  son constantes de escala con  $0 < K_i < 1$
- iii)  $K > -1$  es una constante de escala diferente de cero - que satisface la ecuación:

$$1 + K = \prod_{i=1}^n (1 + KK_i) \quad (3)$$

usando juntos (1) y (2) si  $\sum_{i=1}^n K_i = 1$  la función utilidad es -- aditiva, y si  $\sum_{i=1}^n K_i \neq 1$  entonces es multiplicativa.

Cuando  $\sum_{i=1}^n K_i > 1$ , entonces  $-1 < K < 0$ , y cuando  $\sum_{i=1}^n K_i < 1$ , entonces  $0 < K < \infty$ .

Lo anterior nos dice que se necesita la misma información para evaluar una u otra función, lo cual hace que no se desperdicie el esfuerzo realizado al evaluar las  $n$  funciones de utilidad - de un solo atributo  $u_i$  y las  $n$  constantes de escala  $K_i$ .

Aún cuando los requisitos de las condiciones no se cumplan pa-

ra todo el dominio de los atributos, con pocos pueden haber una buena aproximación. Además, por el hecho de anidar una función multiatributo dentro de otra, la técnica propuesta adiciona flexibilidad en la estructura de la FUM que será obtenida. Lo que significa que las  $X_{i,s}$  pueden ser escalares o vectores. - En el primer caso la función utilidad de dicho componente es de un solo atributo, mientras que el segundo caso, la  $u_i$  es una función multiatributo, y se dice que es una función anidada. - El efecto de las formas multiplicativas anidadas es tener un grado extra de libertad por contener una constante independiente extra.

Todos estos aspectos aplicados a la evaluación de las funciones de utilidad mencionadas han demostrado ser operativas en los problemas ya tratados lo que da una buena base de confiabilidad. Sin embargo, aún cuando los conceptos son claros, se hace necesario tener un procedimiento que muestre paso a paso como utilizarlos. Enseguida presentaremos este procedimiento, en el que el analista establece un dialogo con el decisor.

### iii) EVALUACION DE LA FUM

Una vez conocidas las características de las FUNI, el primer paso es verificar las condiciones de independencia preferencial (IP) e independencia en utilidad (IU) para reducir la evaluación de la FUM a la evaluación de  $n$  FUNI. Para ello particionamos el conjunto de atributos  $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$  en  $Y$  y en  $\bar{Y}$ . al verificar si  $Y$  es PI de  $\bar{Y}$  procedemos como sigue: primero seleccionemos  $\bar{y}^+$  con todos los componentes a un nivel relativamente inde

seable y escogemos  $y'$  y  $y''$  tal que  $(y', \bar{y}+)$  es indiferente a  $(y'', \bar{y}+)$ . Luego colocamos otro punto  $\bar{y}'$  con todos sus componentes a un nivel relativamente deseable y preguntamos al decisor si ahora  $(y', \bar{y}')$  es indiferente a  $(y'', \bar{y}')$ . Si la respuesta es afirmativa repetimos el procedimiento para otro par de consecuencias con  $\bar{y}$  fijado a varios niveles. Si las respuestas son afirmativas, entonces indica que  $Y$  es PI de  $\bar{Y}$ . En este caso si  $(y_1, \bar{y})$  es preferido a  $(y_2, \bar{y})$  lo mismo debe cumplirse para cualquier nivel de  $\bar{y}$ .

Ahora, para verificar IU en lugar de comparaciones pares entre simples consecuencias que involucran valores de  $Y$  y  $\bar{Y}$ , se comparan los Equivalentes bajo certeza (EBC) de una lotería donde solo varía el nivel de un atributo y los otros permanecen fijos, con los EBC de esas mismas loterías cuando los demás atributos cambian a otros valores. En la práctica, si tal condición se verifica para aproximadamente 4 valores de  $\bar{y}$  cubriendo el rango de  $\bar{Y}$  podemos justificar que  $Y$  es IU de  $\bar{Y}$ .

El siguiente paso consiste en evaluar las constantes de escala  $K_{i,s}$ , para ello se obtiene un conjunto de  $n$  ecuaciones independientes que tengan las  $K_{i,s}$  como incógnitas. El conjunto de ecuaciones puede ser generado de consideraciones bajo certidumbre, probabilísticas, o combinación de ambas. Por ejemplo si las consecuencias  $X$  y  $Y$  son igualmente preferidas entonces  $u(X) = u(Y)$ , o por ejemplo si  $X \sim [\omega, p, z]^*$  entonces  $u(X) = p_u(\omega) + (1-p) u(z)$ . Debido a la dificultad y tedio de resolver manualmente  $n$  ecuaciones (las cuales no son necesariamente lineales) con  $n$  incógnitas, la práctica corrien

\*  $X \sim [\omega, p, z]$  se lee,  $X$  es indiferente a la lotería conteniendo  $\omega$  con probabilidad  $p$ , y  $z$  con probabilidad  $1-p$ .

te en evaluar los  $K_i$ 's usualmente requieren conjuntos de ecuaciones que sean fáciles de resolver.

Las funciones aditivas o multiplicativas pueden ser escritas.

$$u(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n K_i u_i(X_i) + \text{POT}$$

donde POT designa "posiblemente otros términos".

En cada caso, cuando la  $u$  y las  $u_i$ 's son escaladas de 0 a 1 -- por

$$u(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 1 \quad \text{y} \quad u(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0) = 0 \quad (4)$$

$$u_i(X_i^*) = 1, \quad u_i(X_i^0) = 0 \quad \text{para toda } i \quad (5)$$

entonces

$$u(X^*, \bar{X}_i^0) = K_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (6)$$

con esto básicamente se limitan las preguntas al decisor a dos tipos:

1. Para qué probabilidad  $p$  ud. es indiferente entre:
  - a) La lotería que contiene una  $p$  a  $X^*$  y una  $(1-p)$  a  $X^0$
  - b) La consecuencia  $(X_i^0, \dots, X_{i-1}^0, X_i^*, \dots, X_n^0)$

Si el decisor responde  $p_i$ , luego usando (4) encontramos que la utilidad esperada de la lotería es  $p_i$ , y usando juntos (1) y (2) la utilidad de la consecuencia es  $K_i$ , entonces es claro -- que  $K_i = p_i$

El segundo tipo es ilustrado por la pregunta:

2. Seleccione un nivel de  $X_i$  (por ejemplo  $X_i$ ) y un nivel fijo de  $X_j$  (por ejemplo  $X_j$ ), tal que, para cuales quiera niveles

fijos de todos los otros atributos, ud es indiferente entre:

- a) Una consecuencia conteniendo  $X'_i$  y  $X_j^0$  conjuntamente.
- b) Una consecuencia conteniendo  $X'_j$  y  $X_i^0$  conjuntamente --- usando (5) y (1) ó (2) las utilidades de esas dos consecuencias indiferentes pueden ser igualadas

$$K_i u_i(X'_i) = K_j u_j(X'_j) \quad (7)$$

Una práctica común para evaluar las  $K_i$ 's sería evaluar primero su rango, luego usar el tipo 1 para evaluar la mayor  $K_i$  y finalmente usar el tipo 2 para evaluar las magnitudes de las otras  $K_i$ 's relativas a la mayor  $K_i$ .

Una vez obtenida, su suma debe ser igual a 1 para que se cumpla la función aditiva, de otra forma los  $K_i$ 's se sustituyen en (3) para evaluar el valor de  $K$ , y las otras constantes si fuera el caso multilínea.

Aún cuando el procedimiento reduce considerablemente los aspectos que deben ser considerados en la interrelación de todos los atributos simultáneamente, podemos forzar al decisor a que responda cuestiones que son mucho más difíciles de evaluar que las teóricamente necesarias.

Para eliminar gran parte de esta dificultad, el paquete presentado, contiene una rutina que facilita los cálculos.

#### 4. MANEJO DEL PAQUETE PECFUM (MUFCAP)

El paquete ha sido nombrado bajo el pseudonimo PECFUM entendi do como "paquete para evaluar y calcular la función de utilidad multiatributo" la secuencia en que deben ser utilizados los comandos y una breve explicación de porqué es conveniente este orden, se presenta ahora.

- i) El primer paso consiste en llamar al comando INPUT (todos los comandos deben estar en mayúsculas) para estructurar la función utilidad. El programa pide los nombres de la función, de sus atributos y de los rangos en que se encuentran, tanto para la función total como para las funciones anidades\*.
- ii) El siguiente paso es especificar las características de las  $u_{i,s}$  para cada uno de los atributos. Esto se hace -- con el comando UNISSET para cualquiera de 3 tipos: lineal, exponencial y lineal por partes. El programa pide algunos datos simples para especificarlos. Y si usted quiere verificar en que medida son consistentes, llame los siguientes comandos: UNICAL que calcula la utilidad para una o una serie de niveles de un atributo dado; "INVERSE" que calcula el nivel de atributo correspondiente a un valor de utilidad dado; o LOTTERY que evalúa el equivalente bajo certeza para cualquier lotería con n consecuencias y sus probabilidades asociadas sobre ese atributo, donde  $2 \leq n \leq 15$ .

---

\*Para un mejor detalle, vea en el anexo una explicación más acabada de -- cada uno de los comandos.

El comando DISPLAY nos da un listado de cada uno de los parámetros de las funciones uniatributo y sus características. Los 4 últimos comandos serán utilizados en un orden adecuado y según convengan al decisor, tantas veces como sean necesarios, hasta que los parámetros de la función uniatributo correspondan con la forma de la curva y las utilidades esperadas, ante diferentes valores del atributo. Para la función multiatributo el comando DISPLAY nos dá un listado de las medidas de los  $K_i$ 's. Cuando la suma de los  $K_i$ 's es 1, la GRAN.K es igual a cero y entonces la función multiatributo es aditiva de la forma (1). De otro modo es multiplicativa de la forma (2)\*.

iii) En seguida se necesita colocar las constantes de escala en la función multiatributo correspondiente a cada atributo. Para ello se llama primero el comando INDIF2 el cual pide dos pares de consecuencias que sean indiferentes. Recuerde que esas consecuencias pueden variar únicamente en términos de dos atributos cuyos  $K_i$ 's son el objeto de evaluación. Luego el programa calcula las relativas  $K_i/K_j$  para el atributo  $i$  y  $j$ , implícitos en el par de indiferencia, el valor de la  $K = cte/K_j$  y la razón implícita entre las constantes de escala de los atributos especificados en el comando dado. Con estos valores es posible proponer los otros  $K_i$ 's en relación a los obtenidos, e introdu-----

\*Las formas (1) y (2) se encuentran en la pag. 7

cirlos al programa por medio del comando KSET. Dicho comando calcula un nuevo valor de la gran  $K$ , que lo obtiene de la fórmula (3).

Luego use el comando "INDIF1" el cual pide un solo par de consecuencias indiferentes y con ello calcula otra vez  $K$  y las magnitudes de nuevas  $K_{i's}$  implicadas por ese par y las  $K_{i's}$  asignadas anteriormente. En esta forma, utilizando "INDIF1" repetidamente, se calculan las magnitudes de la  $K_{i's}$  usando una relación de indiferencia en lugar de una lotería sobre todos los atributos a la vez. Para checar consistencia use de nuevo "INDIF1" que calcula un factor por el cual se multiplican las  $K_{i's}$  encontradas. Si este factor es cercano a 1, el par de indiferencia que colocó es entonces consistente con los factores de escala asignados. Posteriormente se recomienda obtener una curva de indiferencia para cualesquiera dos atributos con el comando "IMAP" puesto que este permite verificar si realmente algunos puntos de la gráfica cumplen con la indiferencia anteriormente especificada. Si no es así, los  $K_{i's}$  pueden ser cambiados o introducir nuevos pares de indiferencia, hasta que representen lo más cercano posible las preferencias del usuario para las interrelaciones de esos atributos. Estos tres pasos son los más importantes puesto que con ello se estructura todas las características de la función utilidad multiatributo del problema. A partir de aquí los demás comandos sirven para utilizar dicha estructura en evaluar alternativas y análisis de sensibilidad.

\* La fórmula (3) está en la pag. 7

Si se requiere un listado de la estructura llame el comando  
DEBUG .

En el ejemplo que presentamos posteriormente es posible que quede más claro todo este proceso. Sin embargo, puede ser necesario remitirse a la parte conceptual para la evaluación de una función multiatributo que también exponemos, aunque sea brevemente, en este escrito.

- iv) El siguiente paso es para evaluar alternativas, requiere primero expresarlas con el comando ADDALT y sirve para especificar alternativas bajo certeza o con incertidumbre. El programa pide los nombres de estas alternativas y sus valores. Con estos nombres el usuario puede adicionar, cambiar o quitar alternativas. Si se quiere una lista de todas ellas se llama el comando ALTLIST. Enseguida se usa el comando EVAL que calcula la utilidad esperada de cualquier alternativa o grupos de alternativas. Este comando puede evaluar la utilidad para toda la función o para una función asociada con un particular atributo. Si se requiere un análisis de sensibilidad pueden ser cambiados los parámetros que se deseen tales como las constantes de escala o distribuciones de probabilidad y luego evaluarse de nuevo. En un contexto de decisiones en grupo, cada uno de los miembros puede hacer los cambios que considere conveniente y esto puede ayudar a clarificar diferencias de opinión para una mejor aproximación a las decisiones de grupo. Para saber qué comandos utilizar vea el listado de comandos en el anexo.

Conjuntamente con estos se recomienda usar el comando GRAD el cual evalúa el gradiente de una función utilidad a cualquier número de alternativas especificadas. Las componentes del gradiente nos dice qué cambios en los niveles de un atributo producirán mayores incrementos en utilidad y en consecuencia proponer otras alternativas, algo así como las constantes de escala para cada atributo. Además GRAD calcula las componentes de  $u$  con respecto a cada  $u_i$ 's, cada componente representa la tasa de cambio de  $u$  con respecto a un cambio en la utilidad  $u_i$ . Estos componentes revelan los atributos para los cuales un incremento en su utilidad producirá los mayores incrementos en  $u$ .

El paquete contiene otros comandos importantes que sirven de soporte al análisis. Por ejemplo SAVE guarda todos los datos introducidos para utilizarse posteriormente y poder realizar cambios, DROPALT elimina alguna alternativa ya introducida, ADDU adiciona un nuevo atributo que no se había considerado, DELU elimina algún atributo de la estructura, etc. El uso de estos comandos, listados en el anexo 1 de este trabajo, serán manejados en la medida que el analista adquiera la práctica necesaria y el dominio del marco teórico en que se sustenta la teoría de decisiones.

## 5. EJEMPLO

### i) Problema del Desarrollo de un Aeropuerto

#### El problema

El rápido crecimiento de la demanda de movimiento áereo, combinado con dificultades en las condiciones de operación que existen en los servicios de aeropuertos, generó la necesidad de conocer cómo deben desarrollarse estos servicios en una Ciudad muy grande de tal manera que cumplan con la demanda adecuadamente de aquí al año 2000.

En dos estudios previos se recomiendan alternativas muy diferentes. Uno propone expandir grandemente el aeropuerto ya existente localizado a 5 Kms. al este del centro de la ciudad y otro trasladar todas las operaciones hacia un nuevo aeropuerto que debería construirse a 25 Kms. al norte de la Ciudad.

El problema de decisión quedó limitado por

1. La localización del aeropuerto (o aeropuertos)
2. La política operativa que defina qué servicios serán transformados y dónde serán localizados.
3. El tiempo para desarrollo de diferentes servicios de aeropuertos.

#### Evolución del Análisis

Para el análisis inicial se tomaron en cuenta las condiciones físicas del medio de la Ciudad, de la zona del aeropuerto existente, de los estudios previos ya realizados, y se definió quien o quienes están a cargo de las decisiones.

Con la ayuda de dichos estudios previos se especificaron claramente los objetivos, las alternativas y medidas de efectividad o atributos para el análisis estático.

### Las alternativas

Las alternativas especificaron qué tipos de vuelos deben operar en cada uno de los dos posibles sitios para el resto del siglo. Se les categorizó como: Internacional (I), Nacional (N), General (G) y Militar (M). Se supone que en un momento dado, cada categoría de vuelos puede operar únicamente en uno de los dos sitios. Además se consideran los cambios a darse sucesivamente en un período de 20 años y se analizan cuando éstos estén en 1985, 1990 y 1995. De acuerdo con lo anterior se obtendrían  $(2^4)^3 = 4096$  alternativas. Sin embargo algunas fueron similares y otras no son razonables. Al final el No. de alternativas que se evaluaron se aproximó a 100.

### Objetivos y medidas de efectividad

Los grupos interesados o involucrados en el problema fueron:

- 1) El gobierno, como constructor y operador de los aeropuertos.
- 2) Los usuarios de sus servicios
- 3) Los no usuarios pero afectados directamente

Se seleccionaron los siguientes 6 objetivos después de largas discusiones:

1. Minimizar la construcción total y costos de mantenimiento
2. Proveer capacidad adecuada para cubrir la demanda
3. Minimizar tiempo de acceso al aeropuerto
4. Maximizar la seguridad del sistema
5. Minimizar los impactos sociales causados por la introducción de nuevos servicios de aeropuerto.
6. Minimizar los efectos de contaminación de ruido debido al tráfico aéreo.

Las medidas de efectividad para esos objetivos fueron:

$X_1$  = Costo total en millones de pesos

$X_2$  = Capacidad en vuelos/hora

$X_3$  = Acceso, tiempo promedio hacia y del aeropuerto (en minutos)

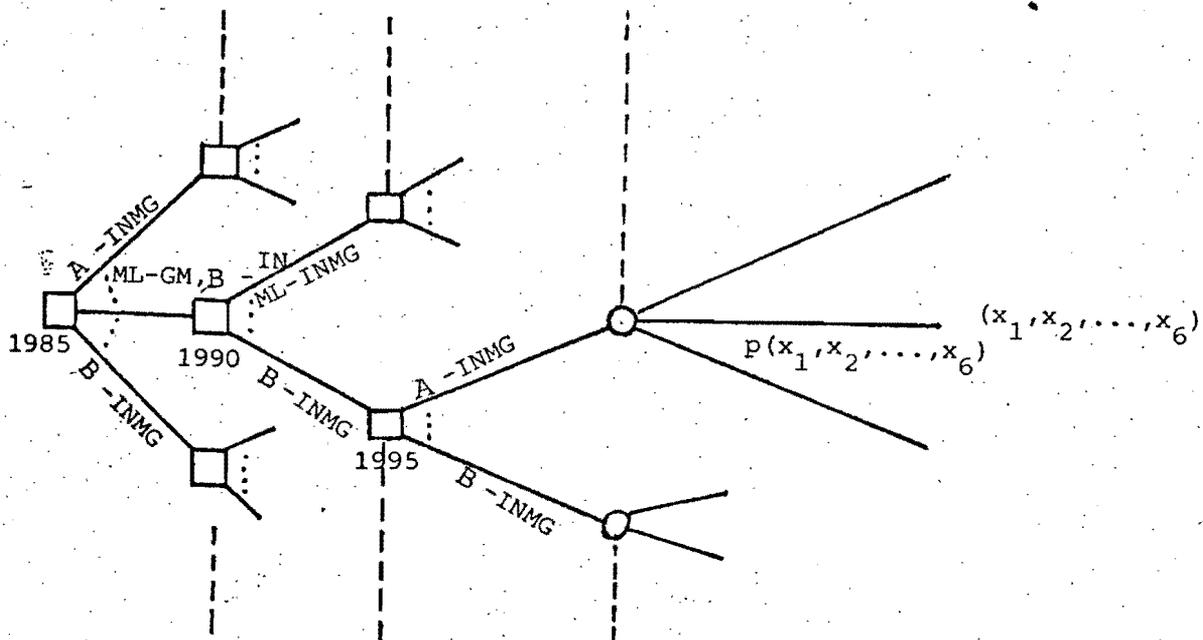
$X_4$  = Seguridad, No. de personas accidentadas ó muertas por vuelos

$X_5$  = Desplazamiento por ampliación de aeropuertos (No. de personas)

$X_6$  = Ruido que afecta a la población a un nivel de 90 CNR o más (No. de personas)

El modelo de decisión básico

Posibles acciones tomadas en			Posibles con	Consecuencias
1985	1990	1995		



Nota: La notación A -GM, B -IN, significa operación de vuelos Militares y Generales en el lugar A e Internacional ynacional en el lugar B

Posibles impactos de cada alternativa

La evaluación probabilística se hizo usando la información - recabada de los estudios previos, por ejemplo; estudios de de manda para el futuro, estudios de ingeniería estructural y me cánica de suelos, estudios que consideran los efectos de con taminación del ruido, análisis de tráfico pesado e interacción con los accesos al aeropuerto, costos estimados y proyec ciones para varias alteraciones en el aeropuerto, y así sucesiva nes

mente.

Para obtener los impactos sobre otras alternativas se realizaron varios experimentos conducidos por una Agencia Gubernamental (AG) como: tiempos de acceso, efectos del ruido, no. de personas desplazadas, etc.

Todos estos estudios y experimentos se integraron usando los juicios profesionales y la experiencia de los miembros de las Direcciones Generales de Aeropuertos y de Computación y Estadística del Gobierno. La evaluación se realizó en sesiones de grupo, donde se sometieron a consenso diferentes juicios. Las funciones de densidad de probabilidad se evaluaron usando el método de fractiles descrito en Raiffa (1968)<sup>3</sup>

Posteriormente se incorporó a estos análisis el efecto del tiempo, para el período de 20 años hasta el año 2000. Por ejemplo, en costo, que incluye construcción y mantenimiento pero no costos de operación, se tomó para el cálculo del valor presente, una tasa de descuento de 12%. Para capacidad, la demanda probable en 1985, 1990 y 1995, y así sucesivamente.

#### Suposiciones de Independencia Probabilística

Se supone que los 6 atributos tienen independencia probabilística. Esto parece razonable sobre algunos atributos co-

mo ruido y tiempo de acceso, pero por otro lado, seguridad depende de capacidad, puesto que a menor capacidad menor seguridad. Sin embargo se consideró que hay otros aspectos más dominantes que esta dependencia y se mantuvo esa suposición.

#### Evaluando la Función utilidad Multiatributo

Una vez que se tuvieron descritos adecuadamente los impactos sobre las alternativas de interés, en términos de los niveles de atributos, se evaluó enseguida una función utilidad  $U(X_1, X_2, \dots, X_6) = U(X)$  sobre esas medidas. Para ello empezamos por explorar una estructura de preferencias del decisor en una manera cualitativa, tratando de establecer si se cumplen las condiciones de Independencia preferencial (IP) e Independencia en utilidad (IU).

Recuerde que en la IP interesan únicamente preferencias ordinales y no involucra elementos probabilísticos. Particionando el conjunto de atributos en Y y Z, si el rango de consecuencias, que cambian únicamente en el nivel de atributo Y, son las mismas independientemente del nivel fijado del atributo Z, entonces Y es PI de Z.

La IU, por otro lado, interpreta las preferencias cardinales del decisor. Si el rango de todas las loterías, que difieren únicamente en los posibles niveles, de Y, son los

mismos independientemente de los niveles fijados de  $Z$ , entonces  $Y$  es IU de  $Z^*$ .

Por ejemplo, consideremos si seguridad  $X_4$  y ruido  $X_6$  son PI de los otros atributos. Primero fijemos los otros atributos a un nivel deseable y preguntemos, ¿qué cantidad de  $X_4$  será tal que  $(X_4; 2500)$  es indiferente a  $(1; 1,500,000)$ . O sea, ¿qué  $X_4$ , No. de personas seriamente dañadas o muertas en accidentes y 2500 personas sujetas a altos niveles de ruido, es indiferente a una persona seriamente dañada o muerta y 1,500,000 personas sujetas a altos niveles de ruido. La respuesta en este caso fue de 300 (el no. exacto no es importante para verificar suposiciones). Ahora queremos conocer si estos cambian cuando varían los otros atributos; entonces coloquemos los otros 4 atributos a un nivel indeseable y hagamos la misma pregunta. La respuesta fue también 300. Luego preguntemos si se cumple en general para cualquier valor de los otros atributos. Si la respuesta es si, se concluye que seguridad y ruido, son PI de los otros atributos. Usando idéntico procedimiento se verificó esta condición en los demás atributos. Por otro lado, se usó el mismo enfoque general para verificar las suposiciones de IU. Por ejemplo considere si tiempo de acceso  $X_3$  fue independiente en utilidad de  $\bar{X}_3$ . Los otros 5 atributos se colocaron a un nivel deseable, y la función utilidad condicional sobre tiempo de acceso de 12 a 90 minutos se evaluó, encontrándose que 62 minu-

\* Dada la importancia fundamental de estas condiciones hemos hecho incapie en varias ocasiones a lo largo del trabajo.

tos era indiferente a una lotería 50-50 con 90 y 12 minutos respectivamente. Luego cambiamos las cantidades de los  $\bar{X}_3$  atributos a cantidades menos preferidas, y repetimos la pregunta. Otra vez el tiempo de acceso de 62 minutos fué la respuesta. Esta misma condición se verificó para los 6 atributos.

Para la evaluación de los  $u_i$ 's se usaron las técnicas ya discutidas anteriormente. Ilustraremos una de ellas con la evaluación de preferencias para tiempo de acceso.

Primero se obtuvieron los valores máximo y mínimo de cada parámetro. De evaluaciones probabilísticas realizadas por la AG, se encontró un rango de 12 a 90 minutos en tiempos de acceso donde los tiempos más cortos se prefieren a los más largos, en consecuencia se estableció  $U_3(90) = 0$  y  $U_3(12) = 1$ . Del chequeo en donde  $X_3$  era independiente en utilidad de  $\bar{X}_3$ , se encontró que 62 minutos era indiferente a la lotería  $\langle 12, 90 \rangle$  con probabilidad 0.5 cada uno. Por lo que:

$$U_3(62) = .5U_3(12) + .5U_3(90) = 0.5$$

Luego puesto que 62 es mayor que el tiempo de acceso esperado 51 de la lotería  $\langle 12, 90 \rangle$ , la función utilidad exhibió aversión al riesgo. En este contexto, aversión al riesgo -

significa que la cantidad  $(X_3 + X'_3)/2$  de cualquier lotería  $\langle X_3, X'_3 \rangle$  se preferirá a la lotería. Puesto que el decisor tiene aversión al riesgo implica que la función utilidad debe ser cóncava. Luego preguntando más aspectos, por ejemplo, para determinar equivalentes bajo certeza se encontró que 40 minutos es indiferente a  $\langle 12, 62 \rangle$  y 78 minutos es indiferente a  $\langle 62, 90 \rangle$  por lo que  $U_3(40) = .5U_3(12) + .5U_3(62) = .75$  y  $U_3(78) = .5U_3(62) + .5U_3(90) = .25$

Con ello se le fijó una curva de utilidad exponencial a estos puntos empíricamente evaluados. En ningún caso se realizaron análisis más sofisticados tales como aversión al riesgo decreciente, por no ser aspectos relevantes a tratar para la función multiatributo.

Se usaron procedimientos similares para evaluar las funciones de costo, seguridad, desplazamiento y ruido. Sin embargo no se encontraron mediciones simples para combinar capacidades en diferentes años, por eso fué necesario evaluar  $U_2$  de manera diferente.

La capacidad  $X_2$  se expresó como un vector  $(X_2^{85}, X_2^{90}, X_2^{95})$ , donde  $X_2^{85}$  es la capacidad en 1985 y así sucesivamente. El primer paso para evaluar  $U_2$  fué identificar las capacidades de aeropuertos posibles para 1985, 1990 y 1995; los

cuales fueron 50, 80, 100 y 130, 200, 250 operaciones por hora respectivamente. Es claro que la mayor capacidad se prefiere a una menor capacidad, por lo que:

$$U_2 (50, 80, 100) = 0 \quad \text{y}$$

$$U_2 (130, 200, 250) = 1$$

Se verificó que cada par de atributos capacidad fué PI de un tercero, y que cada atributo tenía IU de los otros dos. Con ello se conoce que la función es aditiva o multiplicativa, y entonces es una función multiatributo capacidad anidada.

El siguiente paso fué la evaluación de los factores de escala  $k_i$ 's. Ilustraremos la técnica con que se obtuvo  $K_1$  de  $X_1$ , costo, como ejemplo. Preguntamos al decisor que compare una consecuencia donde el costo está en su cantidad más preferida y los otros atributos en su menos preferida, con una lotería donde todos los atributos están en su cantidad más preferida con probabilidad  $p_1$  y todos estos atributos están en su cantidad menos preferida con probabilidad  $1-p_1$ . Con ello sabemos que  $K_1 = p_1$  y encontramos un valor inicial estimado para  $K_1$  y, asimismo, bajo este proceso, para los otros  $k_i$ 's. Luego para checar consistencia, colocamos todos los atributos a su más bajo nivel y preguntamos ¿Ud. preferiría que el costo o que la capacidad pasarán a su mejor nivel? La res--

puesta fué capacidad, para nuestro problema, por lo que  $K_2 > K_1$ . Enseguida encontramos un nivel de capacidad  $X_2^I$  que fué indiferente al mejor nivel de costo  $X_1^*$  y encontramos que  $K_2 U_2 (X_2^I) = K_1$ . De esta manera se encuentran los otros  $k_i$ 's. Si la suma de los  $k_i$ 's es igual a uno, entonces la función es aditiva. De otra forma es multiplicativa y entonces se evalúa el parámetro  $K$ , -- con  $K + 1 = \prod_{i=1}^n (K_i + 1)$

El siguiente paso consistió en analizar las alternativas propuestas por medio de la función objetiva obtenida.

### El Análisis

Se realizaron programas especiales de cómputo para la evaluación de alternativas, basados en el siguiente enunciado: "Dado un conjunto de distribuciones de probabilidad y una función utilidad, se calcula la utilidad esperada para determinadas alternativas".

Como se mencionó antes, las 4096 alternativas se redujeron aproximadamente a 100 las de interés, y de estas, se escogieron las 10 mejores para de ahí encontrar la óptima.

En el análisis de sensibilidad realizado, se cambiaron los límites inferior y superior de cada atributo para estimar los posibles impactos que sucederían sobre esos valores. Por ejem--

plo, los límites inferior y superior del número de personas sujetas a altos niveles de ruido era 400,000 y 800,000 respectivamente. Se modificaron a 600,000 y 1,200,000 para conocer los efectos que produciría en las estrategias o alternativas propuestas. Por otro lado, para alterar la función utilidad, se cambiaron los factores de escala encontrados, para lo cual, se tuvieron que adicionar subrutinas especiales en el programa inicial. También para los cambios realizados en las funciones utilidad individuales ui's, se necesitaron ajustes al programa.

ii) Utilizando el PECFUM para el problema del aeropuerto.

El comando INPUT estructura la función utilidad multiatributo dando los nombres de los atributos involucrados como: - costo, acceso, etc., y los límites inferior y superior en - que se encuentran. La capacidad se introduce como una función multiatributo anidada en este mismo comando.

Las funciones utilidad para cada atributo simple, se especificican con el comando UNISSET en cualquiera de las tres for--mas disponibles.

La evaluación de los  $k_i$ 's se hace introduciendo sólo pares - de indiferencia entre dos atributos, con INDIF2 e INDIF1 y verificando con IMAP, que produce curvas de indiferencia.

Toda esta información puede ser almacenada para uso poste--rior. Después de especificar las alternativas en ADDALT, - su evaluación y análisis de sensibilidad puede realizarse sin necesidad de programas especiales. Es decir, pueden -- ser alterados los valores  $k_i$ 's, rangos de atributos, formas de las  $u_i$ 's, etc.; sin ajustes del programa.

También se pueden introducir nuevos atributos, tales como - contaminación del aire, o quitar otros sin programación adicional. El uso del comando GRAD para cálculo de gradiente

puede ayudar a sugerir otras alternativas a explorar. En el caso que no se cumplan las condiciones de independencia preferencial de algunos atributos, se pueden reorganizar diferentes esquemas de anidamientos, que en este caso sí las cumplan, y simplificar el problema.

La corrida del programa, en relación al problema planteado, se presenta en seguida.

NOMBRE LA FUNCION UTIL. MULT. (MUF) POR FAVOR :  
AEROPUERTO

CUANTOS ATRIBUTOS HAY EN ESTA FUNCION? :

6

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 1 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
COSTO 4000 500

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 2 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
CAPACIDAD 1 1

CUANTOS ATRIBUTOS HAY EN ESTA FUNCION? :

3

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 1 DE F. UTIL. CAPACIDAD  
CAP85 50 130

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 2 DE F. UTIL. CAPACIDAD  
CAP90 80 200

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 3 DE F. UTIL. CAPACIDAD  
CAP95 100 250

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 3 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
ACCESO 90 12

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 4 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
SEGURIDAD 1000 1

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 5 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
DESPLAZAM 250000 2500

COLOQUE NOMBRE Y RANGO PARA ATRIB 6 DE F. UTIL. AEROPUERTO  
RUIDO 1500 2

NOTA: El comando INPUT estructura la función de utilidad multiatributo. Observe que la función "aeropuerto" tiene 6 atributos y la función anidada dentro de ésta, "capacidad", tiene 3 atributos. Note que para introducir una función anidada, el rango superior e inferior debe ser el mismo.

UNISSET COSTO

IP0? ;

C

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

000 4000 500

COMANDO? ;

UNISSET CAP85 RC

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

5 50 130

COMANDO? ;

UNISSET CAP90 RC

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

30 80 200

COMANDO? ;

UNISSET CAP95 RC

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

60 100 230

COMANDO? ;

UNISSET ACCESO RC

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

2 90 12

COMANDO? ;

UNISSET RUIDO RC

BOLOQUE CUALQUIER LOTERIA 50-50 EN FORMA EBC, Q1 Y Q2, POR FAVOR

80 1500 2

NOTA: UNISSET Se usa para cualquiera de 3 tipos de funciones unidimensionales. En este caso 'costo' se introdujo como de riesgo constante (RC), con una lotería 50-50 utilizando el límite superior e inferior y su equivalente bajo certeza.

COMANDO? ;  
DISPLAY CAPES

36

RANGO: 50.000 130.000  
EL TIPO ES RIESGO CONSTANTE  $U(X)=B(1-EXP(-CX))$  B=  
1.23587E+00000 C= 1.65625E+00000  
VARIABLE NORMALIZADA  
AVERSION AL RIESGO  
COMANDO? ;  
DISPLAY COSTO

RANGO: 4000.000 500.000  
EL TIPO ES RIESGO CONSTANTE  $U(X)=B(1-EXP(-CX))$  B=  
1.16229E+00000 C= 1.96875E+00000  
VARIABLE NORMALIZADA  
AVERSION AL RIESGO

NOTA: DISPLAY [atributo] nos dice las características de la función uniatributo. Los parámetros de la función exponencial (en su caso), rango, y si tiene aversión o propensión al riesgo.

COMANDO? ;  
UNICAL COSTO

( 4000.000)=	0.00
( 3300.000)=	0.38
( 2600.000)=	0.63
( 1900.000)=	0.81
( 1200.000)=	0.92
( 500.000)=	1.00

COMANDO? ;  
UNICAL COSTO 4

00 2400 1500 800	
( 3000.000)=	0.50
( 2400.000)=	0.69
( 1500.000)=	0.88
( 800.000)=	0.97

NOTA: UNICAL [atributo] calcula la utilidad para una serie de valores de un atributo particular. Si el usuario no determina estos valores, el programa espacia adecuadamente 6 de ellos dentro del rango especificado.

ANDO? ;  
 ERSE COSTO

4000.000=INV( 0.000)  
 3840.062=INV( 0.100)  
 3469.235=INV( 0.300)  
 3000.102=INV( 0.500)  
 2360.974=INV( 0.700)  
 1353.441=INV( 0.900)  
 500.000=INV( 1.000)

ANDO? ;  
 ERSE COSTO 3

.6 .4  
 1927.648=INV( 0.800)  
 2709.107=INV( 0.600)  
 3250.099=INV( 0.400)

ANDO? ;

NOTA: INVERSE [atributo] calcula el valor de una serie de utilidades, que el programa espacia adecuadamente en 7, si el usuario no especifica para cuáles utilidades desea obtener sus valores.

Con los 3 comandos últimos podemos asegurar si la función uniatributo corresponde a las características de la introducida en UNISSET. Se recomienda, para una mejor aproximación a la forma deseada, usar el tipo lineal por partes (PL).

BUG AEROPUERTO

ESTRUCTURA PARA AEROPUERTO

COSTO	0.167		
.00000E+00003		5.00000E+00002	1
CAPACIDAD	0.167		
AF85	0.333		
.00000E+00001		1.30000E+00002	1
AF90	0.333		
.00000E+00001		2.00000E+00002	1
AF95	0.333		
.00000E+00002		2.50000E+00002	1
ACCESO	0.167		
.00000E+00001		1.20000E+00001	1
DESPLAZAM	0.167		
.50000E+00005		2.50000E+00003	0
SEGURIDAD	0.167		
.00000E+00003		1.00000E+00000	0
PUEDO	0.167		
.50000E+00003		2.00000E+00000	1

NOTA: DEBUG [MUF] ó simplemente DEBUG, se expresa enseguida para conocer como ha quedado hasta ahora expresada la estructura de la función multiatributo. Los atributos, constantes de escala, rangos y tipos de funciones uniatributos (0, 1 ó 2).

COMANDO? ;  
INDIF2 SEGURIDAD COSTO

38

QUE DOS PARES DE CONSECUENCIAS CON  
3 ATRIBUTOS QUE SEAN INDIF. SIMULTANEAMENTE  
1200 300 2500  
3500 750 2500

GRAN.K= -0.376/K(SEGURIDAD )  
RES DE INDIF. PROD. INFOR. DE LAS K'S REL.  
RAZON PARA VERIFICAR LA REL. K DE COSTO A SEGURIDAD = 1.0  
RAZON IMPLICITA= 1.373

NOTA: INDIF 2 [atributo 1 atributos 2] pide dos pares de consecuencias indi-  
ferentes y calcula una posible  $K = Cte/K_1$  y una proporción entre  
 $K_1/K_2$  para que el usuario proponga dos valores,  $K_1$  y  $K_2$ , que se aproxi-  
men a las condiciones calculadas en el comando.

COMANDO? ;  
KSET AEROPUERTO

COSTO = :

48  
CAPACIDAD = :

6  
ACCESO = :

1  
SEGURIDAD = :

35  
DESPLAZAM = :

18  
RUIDO = :

18  
GRAN.K= -0.876

NOTA: KSET [MUF] Se usa para introducir los valores  $K_i$ 's de cada atributo  
(el peso que cada uno tiene en la FUM). El usuario propone arbitraria-  
mente los valores ayudandose de los  $K_1$  y  $K_2$  obtenidos anteriormente y  
los otros en términos de éstos propuestos. Se supone que el usuario  
tiene una idea aproximada de la importancia que cada atributo tiene en  
la función total. Si la suma de los  $K_i$ 's es diferente de 1, el programa  
calcula la K para la función multiplicativa.

COMANDO? ;  
 IMAP SEGURIDAD COSTO

COLOQUE UN PUNTO DE INDIF. POR EL QUE PASARA LA CURVA:  
 800 1000

INTRODUZCA NUMERO DE PTS. PARA GRAFICA:

COLOQUE VALORES DE SEGURIDAD PARA LA GRAFICA  
 1000 800 600 300 100

PUNTOS DE INDIFERENCIA

( 1000.000, 71.141)  
 ( 800.000, 1000.000)  
 ( 600.000, 1678.306)  
 ( 300.000, 2480.172)  
 ( 100.000, 2938.435)

UTIL PARA LA CURVA CON OTROS ATRIB. A NIVEL 0= 0.497

NOTA: IMAP [atributo 1 atributo 2]. Este comando calcula una curva de indiferencia entre dos atributos con el objeto de tener puntos de indiferencia, tantos como desee el usuario, y proponerlos en los comandos INDIF 2 ó INDIF 1. En las curvas de indiferencia los valores de los  $K_i$ 's no tienen ninguna influencia.

INDIF1 SEGURIDAD COSTO

COLOQUE UN PAR DE CONSECUENCIAS CON DOS ATRIBUTOS  
 C/U QUE SEAN INDIFERENTES POR FAVOR  
 1000 70 300 2480

NUEVO FACTOR(ES) K'S IMPLICITOS 1.000 ( 4.634)  
 NUEVO IMPLICITO GRAN.K= -0.876

NOTA: INDIF 1 [atributo 1 atributo 2]. Introduciendo un par de consecuencias indiferentes el programa calcula dos factores y una K implícita resultante del par indiferente. Si el primer factor (el que no está en parentesis) es igual a 1 o muy cercano, significa que los  $K_i$ 's introducidos en KSET son los adecuados, en caso contrario, será necesario modificar los  $K_i$ 's llamando de nuevo KSET y corroborandolos con el factor de INDIF 1 descrito. Utilizando sucesivamente estos dos comandos podemos hacernos a los  $K_i$ 's deseados.

COMANDO? ;  
KSET CAPACIDAD

CAP85 = :  
3  
CAP90 = :  
5  
CAP95 = :  
4  
GRAN.K= -0.453

COMANDO? ;  
DEBUG

ESTRUCTURA PARA AEROPUERTO

ESTO	0.480		
00000E+00003		5.00000E+00002	1
CAPACIDAD	0.600		
P85	0.300		
00000E+00001		1.30000E+00002	1
P90	0.500		
00000E+00001		2.00000E+00002	1
P95	0.400		
00000E+00002		2.50000E+00002	1
CESO	0.100		
00000E+00001		1.20000E+00001	1
SEGURIDAD	0.350		
00000E+00003		1.00000E+00000	0
SPLAZAM	0.180		
50000E+00005		2.50000E+00003	0
IDO	0.180		
50000E+00003		2.00000E+00000	1

COMANDO? ;

Nota: Usando de nuevo KSET para la función aninada "capacidad" y realizando los pasos necesarios para encontrar los ki's correspondientes, llamamos el comando DEBUG para conocer la estructura final de la FUM. Esta estructura será posteriormente cambiada para análisis de sensibilidad.

COMANDO? ;  
ADDALT A

LA ALTERN ES PROB.? (SI O NO);  
NO

ALTERNATIVA A	ESPECIF.
COSTO =:	
2000	
CAP85 =:	
100	
CAP90 =:	
150	
CAP95 =:	
200	
ACCESO =:	
50	
SEGURIDAD =:	
300	
DESPLAZAM =:	
150000	
RUIDO =:	
400	

COMANDO? ;

NOTA: ADDALT [nombre de alternativa]. Una vez establecidas todas las características de la MUF, este comando especifica las alternativas y pueden ser bajo certeza o probabilísticas. El caso presentado aquí es bajo certeza donde el usuario especifica los valores de cada uno de los atributos.

ALTERNATIVA B ESPECIF.

COSTO =:  
1500

CAP85 =:  
95

CAP90 =:  
180

CAP95 =:  
220

ACCESO =:  
60

SEGURIDAD =:  
100000

DESPLAZAM =:  
100000

RUIDO =:  
400

COMANDO? #  
CHANGEALT SEGURIDAD B

SEGURIDAD =:  
400

COMANDO? #  
ADDALT C

LA ALTERN ES PROB.? (SI O NO)?  
NO

ALTERNATIVA C ESPECIF.

COSTO =:  
1800

CAP85 =:  
110

CAP90 =:  
170

CAP95 =:  
2300

ACCESO =:  
25

SEGURIDAD =:  
300

DESPLAZAM =:  
30000

RUIDO =:

COMANDO? ;  
 EVAL AEROPUERTO

A	0.861
B	0.898
C	0.908

NOTA: EVAL [FUM] [alternativas] evalúa la utilidad de todas las alternativas o de las que el usuario mencione.

COMANDO? ;  
 EVAL COSTO A B

A	0.785
B	0.877

COMANDO? ;  
 EVAL RUIDO

A	0.749
B	0.749
C	0.813

NOTA: EVAL [atributo] [alternativas] evalúa la utilidad de los valores dados en las alternativas. En todas o en las que mencione el usuario.

COMANDO? ;

U CONTAM AEROPUERTO

LOQUE RANGO PARA ATRIB. 7 DE FUNC. UTIL. AEROPUERTO  
 0 250

DE NECESITAR FIJAR COMP. DE ALTERN.  
 K'S NECESITAN NORM. Y LA GRAN. K FIJARSE

NOTA: ADDU [atributo 1 atributo 2 ó FUM]. Observe que permite adicionar un nuevo atributo a la lista que se tiene. Este nuevo atributo se puede introducir dentro de cualquier otro y considerarse entonces como una función anidada. Note que no es necesario realizar muchos cambios para evaluar la nueva estructura de la FUM, lo que permite reducir los calculos convencionales.

ANDOT ;  
LIST

	A	B	A3
TO	2000.000	1500.000	1800.000
85	100.000	95.000	110.000
90	150.000	180.000	170.000
95	200.000	220.000	230.000
ESC	50.000	60.000	25.000
URIDAD	300.000	400.000	200.000
PLAZAM	150000.000	100000.000	120000.000
DO	400.000	400.000	200.000
TAM	4000.000	4000.000	4000.000

BLA PARA ALTER. PROB. (EQUIV. BAJO CERT.)  
AY ALTERN. PROBABILISTICAS

NOTA: ALTLIST lista todas las alternativas propuestas. En caso de alternati  
vas probabilisticas, lista los equivalentes bajo certeza de esas al-  
ternativas.

ANDOT ;  
CHANGEALT CONTAM A

TAM =:

ANDOT ;  
CHANGEALT CONTAM B

TAM =:

ANDOT ;  
CHANGEALT CONTAM C

TAM =:

ANDOT ;  
AEROPUERTO

0.894

0.925

0.949

NOTA: CHANGEALT [atributo] [alternativa]. Cuando quiera cambiar el valor,  
en caso bajo certeza; o los valores probabilisticos, en caso de incer  
tidumbre, de un solo atributo en una alternativa particular dada.

COMANDO? ;  
 EVAL DESPLAZAM A B

A 0.404  
 B 0.606

COMANDO? ;  
 GRAD AEROPUERTO B - C

B 0.897  
 ATRIB, COMP.GRAD.UTIL. Y COMP.GRAD.ATRIB.  
 COSTO 0.162 -2.571E-00  
 CAPACIDAD 0.235  
 CAP85 0.000 0.000E+000  
 CAP90 0.000 0.000E+000  
 CAP95 0.000 0.000E+000  
 ACCESO 0.022 -3.079E-00  
 SEGURIDAD 0.091 -9.151E-00  
 DESPLAZAM 0.042 -1.713E-00  
 RUIDO 0.043 -2.793E-00

C 0.921  
 ATRIB, COMP.GRAD.UTIL. Y COMP.GRAD.ATRIB.  
 COSTO 0.141 -2.652E-00  
 CAPACIDAD 0.215  
 CAP85 0.000 0.000E+000  
 CAP90 0.000 0.000E+000  
 CAP95 0.000 0.000E+000  
 ACCESO 0.021 -1.688E-00  
 SEGURIDAD 0.089 -8.938E-00  
 DESPLAZAM 0.038 -1.523E-00  
 RUIDO 0.040 -2.523E-00

COMANDO? ;  
 GRAD CAPACIDAD A

A 0.764  
 ATRIB, COMP.GRAD.UTIL. Y COMP.GRAD.ATRIB.  
 CAP85 0.220 1.983E-000  
 CAP90 0.385 2.960E-000  
 CAP95 0.303 2.731E-000

NOTA: GRAD [FUM]. Lista la componente del gradiente de la función utilidad y la componente del gradiente de los atributos de cada uno de ellos con el objeto de que el usuario conozca la variación de cambio que cada atributo tiene en relación a la FUM, para todas las alternativas a las que el usuario especifique.

LA ALTERN ES PROB.? (SI O NO);  
SI

ALTERNATIVA UNO ESPECIF.  
CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)COSTO (2<=N<=9) :  
5

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
99500 1050 1250 1500 2000DEL  
500 1050 1250 1500 2000  
0 .25 .5 .75 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP85 (2<=N<=9) :  
2

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
99.9 100  
.001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP90 (2<=N<=9) :  
2

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
179.9 180  
.001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP95 (2<=N<=9) :  
2

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
209.9 210  
.001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)ACCESO (2<=N<=9) :  
5

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
13 23 27 30 38  
0 .25 .5 .75 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)SEGURIDAD (2<=N<=9) :  
2

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
699 700  
.001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)DESPLAZAM (2<=N<=9) :  
2

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
189999 190000  
.001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)RUIDO (2<=N<=9) :  
5

540 1000 1250 1400DEL  
540 1000 1100 1250 1400  
.25 .5 .75 1

COMANDO? #  
ADDALT BOS

LA ALTERN ES PROB.? (SI O NO)?  
SI

ALTERNATIVA DOS ESPECIF.  
CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)COSTO (2<=N<=9) :

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
2450 3000 3150 3400 3800  
.25 .5 .75 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP85 (2<=N<=9) :

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
110 110.1  
001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP90 (2<=N<=9) :

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
190 190.1  
001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)CAP95 (2<=N<=9) :

229.9 20DEL

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
229.9 230  
001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)ACCESO (2<=N<=9) :

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
30 50 56 32 72  
.25 .5 .75 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)SEGURIDAD (2<=N<=9) :

119.9 220DEL

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
119.9 220  
001 1

CUANTOS PUNTOS REQUIERE? (INCLUYA 0 Y 100%)DESPLAZAM (2<=N<=9) :

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
999 5000  
001 1

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO Y LUEGO F(X)'S  
 5 350 400 500 550  
 0 .25 .5 .75 1

Nota: Observe esta nueva lista de alternativas.  
 Se han introducido 2 alternativas probabi-  
 lísticas. Note abajo los resultados de su  
 evaluación.

COMANDO? ;  
 ATLISTDEL  
 ALTLIST

	A	B	C
COSTO	2000.000	1500.000	1800.000
CAP85	100.000	95.000	110.000
CAP90	150.000	180.000	170.000
CAP95	200.000	220.000	230.000
ACCESO	50.000	60.000	25.000
SEGURIDAD	300.000	400.000	300.000
DESPLAZAM	150000.000	100000.000	130000.000
RUIDO	400.000	400.000	300.000

TABLA PARA ALTER. PROB. (EQUIV. BAJO CERT.)  
 UNO DOS

	UNO	DOS
COSTO	1301.371	3199.947
CAP85	99.863	109.931
CAP90	179.815	189.897
CAP95	209.799	229.760
ACCESO	26.659	55.556
SEGURIDAD	699.800	320.730
DESPLAZAM	190059.501	5244.475
RUIDO	1082.442	382.888

COMANDO? ;  
 EVAL AEROPUERTO

A	0.861
B	0.898
C	0.908
UNO	0.844
DOS	0.883

COMANDO? ;  
 EVAL COSTO

A	0.785
B	0.877
C	0.825
UNO	0.908
DOS	0.421

COMANDO? ;  
 EVAL SEGURIDAD

A	0.701
B	0.601
C	0.701
UNO	0.301
DOS	0.790

COMANDO? ;  
CHANGE COSTO RANGE

COMPONENTES DE ALTER. NECESITAN CAMBIARSE  
RANGO POR FAVOR:  
4000 500

Nota: En este paso vamos a cambiar las características de las funciones uniatributo, de exponencial a lineal por partes.

TIPO? ;

PL

CUANTOS PUNTOS EN LA FUNCION UTILIDAD? ;

5

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO LUEGO U(X)'S

4000 1800 1150 900 500  
0 .25 .5 .75 1

COMANDO? ;  
CHANGE ACCESO RANGE

COMPONENTES DE ALTER. NECESITAN CAMBIARSE

RANGO POR FAVOR:  
80 10

TIPO? ;

PL

CUANTOS PUNTOS EN LA FUNCION UTILIDAD? ;

5

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO LUEGO U(X)'S

90 69 50 40 10  
0 .25 .5 .75 1

COMANDO? ;  
CHANGE RUIDO RANGE

COMPONENTES DE ALTER. NECESITAN CAMBIARSE

RANGO POR FAVOR:  
1500 0

TIPO? ;

PL

NOTA: CHANGE [atributo] [NAME, K, RANGE] [nuevo nombre ó valor de K] posiblemente sea este comando el más importante, junto con CHANGEALT, para el análisis de sensibilidad. Permite tanto cambiar el nombre, el valor de su K, así como el rango y tipo de función uniatributo. Observe como cambian las correspondientes utilidades cuando varían estos importantes aspectos de la función utilidad multiatributo.

COLOQUE VALORES X'S PRIMERO LUEGO U(X)'S

1500 900 600 300 1  
0 .25 .5 .75 1

COMANDO? ;  
EVAL AEROPUERTO

A 0.819  
B 0.867  
C 0.877  
UNO 0.816  
DOS 0.855

Nota: Observe como al cambiar los tipos de las funciones uniatributos la evaluación de alternativas nos dá valores más cercanos.

COMANDO? ;  
DISPLAY-COSTO

RANGO: 4000.000 500.000  
EL TIPO ES LINEAR POR PARTES  
U( 4000.000)= 0.000  
U( 1800.000)= 0.250  
U( 1150.000)= 0.500  
U( 900.000)= 0.750  
U( 500.000)= 1.000

Nota: Para verificar si las características de las funciones uniatributo son las adecuadas, use otra vez los comandos DISPLAY, UNICAL e INVERSE. note como el tipo 2 - (Lineal por partes) expresa mejor las formas de las funciones.

COMANDO? ;  
UNICAL COSTO

U( 4000.000)= 0.00  
U( 3300.000)= 0.20  
U( 2600.000)= 0.40  
U( 1900.000)= 0.60  
U( 1200.000)= 0.80  
U( 500.000)= 1.00

COMANDO? ;  
FRACTILE COSTO UNO

DISTRIB. ACUM. PARA LA ALTERN.  
F( 500.000)= 0.000  
F( 1050.000)= 0.250  
F( 1250.000)= 0.500  
F( 1500.000)= 0.750  
F( 2000.000)= 1.000

Nota: FRACTILE (atributo) (alternativa) nos dice las características de la función de distribución de probabilidad acumulada de un atributo, en una alternativa probabilística dada.

COMANDO? ;  
FRACTILE COSTO DOS

DISTRIB. ACUM. PARA LA ALTERN.  
F( 2450.000)= 0.000  
F( 3000.000)= 0.250  
F( 3150.000)= 0.500  
F( 3400.000)= 0.750  
F( 3800.000)= 1.000

COMANDO? ;  
CHANGE COSTO K .3

Nota: Cambiamos el valor de K en costo, de .48 a .3, y observe como cambian los resultados de las alternativas en los siguientes comandos.

COMANDO? ;  
EVAL COSTO

B	0.714
C	0.629
UNO	0.782
DOS	0.238

COMANDO? ;  
EVAL AEROPUERTO

A	0.801
B	0.846
C	0.865
UNO	0.773
DOS	0.867

COMANDO? ;  
CHANGE COSTO K .48

COMANDO? ;  
CHANGE SEGURIDAD K .5

Nota: Ahora cambiamos el valor de K en seguridad, de .35 a .5, y observe el impacto en la función multiatributo.

COMANDO? ;  
EVAL AEROPUERTO

A	0.842
B	0.877
C	0.890
UNO	0.817
DOS	0.877

COMANDO? ;  
CHANGE SEGURIDAD K .35

COMANDO? ;  
CHANGE DESPLAZAM K .4

COMANDO? ;  
EVAL AEROPUERTO

A	0.828
B	0.882
C	0.883
UNO	0.817
DOS	0.898

COMANDO? ;  
KSET AEROPUERTO ADD

GRAN.K= -0.917

COMANDO? ;  
EVAL AEROPUERTO

A	0.502
B	0.549
C	0.551
UNO	0.480
DOS	0.561

COMANDO? ;  
DISPLAY AEROPUERTO

Nota: KSET (FUM) (ADD). La expresión ADD en el comando KSET normaliza los valores de los ki's de tal manera que su suma es igual a 1. Es decir transforma la FUM de multiplicativa a Aditiva. Observe el efecto que ocasiona al evaluar esta nueva función en las alternativas.

## LISTADO DE K FACTORES

COSTO 0.227  
 CAPACIDAD 0.284  
 ACCESO 0.047  
 SEGURIDAD 0.166  
 DESPLAZAM 0.190  
 RUIDO 0.095

Nota: El resultado de haber normalizado los  
 ki's lo podemos ver con DISPLAY (FUM).

GRAN.K= -0.917 SUM K'S= 1.000

COMANDO? ;

KSET AEROPUERTO OVERRIDE

COSTO = ;

.227

CAPACIDAD = ;

.284

ACCESO = ;

.047

SEGURIDAD = ;

.166

DESPLAZAM = ;

.09

RUIDO = ;

.095

.45

GRAN.K= 0.450

COMANDO? ;

EVAL AEROPUERTO

A 0.656

B 0.726

C 0.750

UNO 0.609

DOS 0.698

Nota: KSET (FUM) (OVERRIDE). Permite al usuario especificar los valores tanto de los ki's como de la K, para un tipo de FUM diferente de las anteriores. Observe como cambian los resultados de las alternativas.

Nota Final: No es interés del trabajo encontrar el mejor curso de acción de las alternativas propuestas. Tampoco interpretar los resultados para el análisis de sensibilidad. Simplemente presentar las ventajas del programa, los usos de algunos comandos y observar los efectos que ocurren en un problema particular. Consideremos que con esto el lector tendrá una idea clara para encontrarle aplicaciones concretas.

## 6. CONCLUSIONES

Hemos expuesto que este programa es sólo una herramienta, - que aunque sea explotada en todas sus posibilidades y aplicado correctamente su marco teórico, sus resultados no son más que meras aproximaciones a la mejor decisión, y que en todo caso sólo sirven de referencia, orientando al decisor y sugiriendo las mejores alternativas, quedándose a nivel - prescriptivo.

No puede ser de otra manera, puesto que las personales convicciones, actitudes o valores del decisor están fuertemente influenciadas por el medio circunstancial de su entorno. Tanto sus respuestas, cuando establecemos un diálogo con él para obtener los parámetros que nos interesan, como su decisión final responden a situaciones coyunturales que caen - fuera del análisis formal, es decir, que no pueden ser cuantificables.

Tal vez en esto resida una de las principales fallas de la teoría de decisiones, esto es, la que se refiere a la fase - de implantación. En la práctica no debe separarse un problema de su identificación y análisis con su implantación, - puesto que esta fase da lugar a nuevas restricciones que deben ser consideradas, como por ejemplo: la estructura orga-nizacional del sistema, aspectos burocráticos, presiones -

sindicales, caprichos de poder, etc.

Sin embargo, lo que se refiere a la parte de cálculo de lo que hasta ahora es el análisis de decisiones, se ve reducido grandemente con ayuda de este programa. Las ventajas derivadas de su utilización son evidentes, principalmente para un analista con un buen conocimiento de la teoría que lo sustenta. Además, es claro que en la medida que se adquiera práctica en su manejo, permitirá estructurar mejor sus problemas subsecuentes, lo que posiblemente generará adiciones o modificaciones al marco conceptual, que amplien la frontera del conocimiento en este ámbito. Es decir, puede tener carácter huerístico.

Aunque pueda parecer optimista mi actitud, consecuencia de todo primer trabajo de investigación, considero que no será en balde el esfuerzo realizado para la implantación del programa y que será de gran ayuda para otros compañeros que se avoquen al estudio de la teoría de decisiones, tanto aquí como en otras facultades, así como para los que profesionalmente lo utilizan. Puede servir tanto al sector público como al privado en su toma de decisiones, puesto que el programa se utiliza por individuos o incluso por grupos.

Por esta razón soy optimista. El reto que plantea la fase de implantación mencionada, debe ser retomada para vencer esa dificultad

y poder llegar a mejores resultados. Las perspectivas de las tomas de decisiones son tales que mi modesta aportación, ójala tenga alguna utilidad para alguien.

En lo que respecta al programa en sí, hay algunas recomendaciones que considero convenientes. La parte que corresponde al cálculo de los  $k_{i,s}$  no es muy consistente por lo que se sugiere que se utilice en la medida que se tenga un conocimiento aproximado de ellos. Tal vez usando los aspectos formales ya mencionados en este escrito y combinandolo con los comandos para tal fin, se llegue a una buena aproximación. También para explicitar las formas de las funciones uniatributos, puesto que se obtienen generalmente por el método de valores medios, es conveniente usar el tipo de función lineal por partes ya que así se definen apropiadamente las funciones mencionadas.

La parte más útil y más operativa del programa es la que se refiere al análisis de sensibilidad. Es posible realizar tantos cambios como el usuario considere conveniente sin que represente esfuerzo adicional alguno para los cálculos. Una vez definida todas las características de la función multiatributo.; la evaluación de alternativas bajo diferentes condiciones se encuentra rápidamente, maximizando la eficiencia del análisis y reduciendo sensiblemente el tiempo de computo. El ejemplo que se presenta para el problema de un aeropuerto con tiene varias modificaciones que pueden servir en un análisis de sensibilidad. En ellas puede observarse las potencialidades que brinda el programa.

Por último es necesario decir que no fue posible encontrar una forma que permita salvar el archivo de datos introducidos en un problema particular, por deficiencias en el almacenamiento que muestra la máquina para el lenguaje PL/1 que es ta implementado al programa. Pero puesto que el sistema es iterativo, se puede utilizar el decwriter e ir observando directamente los resultados del análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. KEENEY, R.L. y H. RAIFFA. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Ed. John Wiley and Sons, New York, 1976.
2. SICHERMAN, Alan, An Interactive computer program for Assessing and Using Multiattribute Utility functions, Tesis doctoral, Operation Research Center Massachusetts Institute of Technology, 1975.
3. RAIFFA, H. Decision Analysis. Ed. Addison-Wesley, Reading Mass, 1968.
4. MORGAN, Jones J. Introducción a la Teoría de decisiones. Traducida por Representaciones y Servicios de Ingeniería México, 1979.
5. FLORES, Jesús Acosta, Teoría de decisiones, en el Sector público y en la empresa privada. Ed. Representaciones y Servicios de ingeniería, S.A. México, 1975.
6. CANALES, R., S.T. Guillen, J. Marcos. Toma de decisiones con objetivos múltiples caso determinista. Ed. Revista del Instituto de Ingeniería, México, 1976.
7. FIRE, C.T., PL/1 for Scientific programmers, Ed. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
8. RAIFFA, Howard, Decisión Análisis, a self - instructional Self - paced course, Notas de un curso. 7 Modulos.

9. CONWAY, Richard, David Gries, Primer on Structured Programming Using PL/1, PL/C and PL/CT, 1976 by Winthrop Publisher Inc. 17 Donster Street, Massachusetts.
10. LUCE, R.D. y H. RAIFFA Games and Decisions. Ed. John Wiley and Sons, New York, 1957.

## ANEXO 1



DEPEFI

## LISTA DE COMANDOS DE PECFUM

INPUT name - se le dá un nombre a la función multiatributo y en el programa éste se reconocerá con la expresión 'name'. El programa establece un diálogo con el analista y le pide nombres para los atributos y sus rangos. Para el caso de atributos cuyas preferencias sean monotónicas se debe poner primero el valor de preferencia menos deseable. Cuando haya un vector atributo, (y en consecuencia una MUF anidada) este se asignará especificando un mismo número para los límites tanto inferior como superior. Después que se han introducido estos datos, el programa establece por default, la forma aditiva para todas las MUF's con  $K_i = K_j$  para toda  $i, j$  y la función de utilidad lineal para todas las UNIF's. El usuario posteriormente modificará éstos de acuerdo con los comandos que tienen la función de dichos cálculos y adecuarlos a las expectativas del decisor.

SAVE filename - Salva las preferencias y la especificación de alternativas, es decir todos los datos dados hasta la hora, en un archivo llamado filename.

READ filename - Restablece la información que fué salvada en 'filename'.

DEBUG - lista todos los atributos y la estructura de la función utilidad. Dicha lista incluye sus nombres, factores -

de escala, rangos y tipos de función uniatributo (0, 1 y 2 indican lineal, aversión constante al riesgo y lineal por partes respectivamente). Lo mismo sucede con un vector atributo, que en este caso, es una función multiatributo anidada.

ADDALT alname [factor] - Inicia un diálogo en el que una alternativa será reconocida por la expresión 'alname'. El programa pregunta al usuario si la alternativa es probabilística o bajo certeza. Si la respuesta es el primer caso, se requiere una distribución de probabilidad acumulada lineal por partes (los valores de la abscisa para la función se colocan en orden ascendente). La opción "factor" es un número que coloca todos los atributos escalares al nivel factor de sus rangos. Por ejemplo, si factor = .1, todos los atributos escalares son colocados a un décimo de la posición que hay entre los límites inferior y superior.

Hay que tener cuidado en esta parte puesto que estas alternativas son las que posteriormente serán evaluadas por la función utilidad.

DROPALT alname - remueve o elimina la alternativa 'alname' del estatus anteriormente dado.

EVAL unname A, B, ... - Evalúa las alternativas A, B, ... usando la función utilidad asociada con 'unname'. Si no se especifica alguna alternativa en particular, el programa - evalúa todas las alternativas y hace un listado de sus utilidades.

UNISSET unname [ LIN, RC, PL ] - fija la función uniatributo asociada con 'unname' en la forma lineal, aversión constante al riesgo o lineal por partes. El primer caso es por default; en el segundo el programa pregunta por una lotería con dos valores y su EBC; en el tercer caso, la forma lineal por partes, los valores de la abscisa se colocan en orden ascendente, donde  $2 \leq n \leq 9$ .

KSET mname [ factor, ADD, OVERRIDE ] -fija los factores de escala para la MUF asociada con "mname", introducidos por el usuario. El número "factor" origina que los factores de escala fijados sean multiaplicados por ese número. El programa automáticamente calcula la K asociada con los nuevos factores de escala. Si junto con esto se especifica ADD - los factores de escala se normalizan para que su suma sea igual a 1. Por otro lado el usuario puede colocar directamente el valor de K en respuesta a la disposición final hecha por el computador si se especifica OVERRIDE.

GRAN unname A, B, ... - calcula las componentes del gradien-

te (pendiente) de la función utilidad asociada con 'uname' para todas o algunas de las alternativas A, B,...

INDIF1 uname 1 uname 2 - En el plano de atributos uname 1 uname 2, dada las relativas  $k_i$ 's (esto es, factores de escala con una relación apropiada, una con respecto a la otra, pero no necesariamente un valor absoluto adecuado) la  $K$  se especifica por un simple par de consecuencias de indiferencia. INDIF1 requiere este par de consecuencias de indiferencia y usa las  $k_i$ 's como las relativas  $k_i$ 's dadas. En respuesta, la  $K$  es dada junto con el factor por el cual las  $k_i$ 's corrientes serán multiplicadas para producir la  $K$  (ver el comando KSET con la opción "factor").

INDIF2 uname 1 uname 2 - En el plano de atributos uname 1 uname 2, con los factores de escala denotados por  $K_1$  y  $K_2$ , colocando dos pares de dos consecuencias de indiferencia - donde cada uno especifica la razón  $K_1/K_2$  y  $K = \text{constante}/K_1$ . Después de INDIF2, se puede usar el comando KSET para fijar  $K_1$ , y luego  $K_2$  y  $K$  en términos de  $K_1$ . Posteriormente se puede usar el comando IMAF para generar curvas de indiferencia en el plano uname 1 - uname 2 (para esas curvas de indiferencia, los valores de  $k_i$ ,  $i \neq 1,2$  son irrelevantes).

UNICAL uname n - imprime una lista de utilidades usando la INIF asociada con 'uname'. Una vez que se especifica el número n, el usuario propone n cantidades de atributo y el pro--

grama responde con las n utilidades asociadas.

INVERSE unname n - imprime una lista de cantidades de - - atributos asociadas con utilidades usando la UNIF "unname". Una vez que se especifica el número n, el usuario propone n cantidades de utilidad de "unname" y el programa responde - con los n niveles de atributos asociados. Si no se especifica la n, el programa tiene una impresión por default.

CHANGEALT unname alname - es una rutina pra cambiar la componente del atributo "aname" de la alternativa "altaname" - sin cambiar las otras componentes.

CHANGE unname [ NAME, K, RANGE ] param - rutina para cambiar el nombre o factores escala o rango del atributo "unname" a param. Si no se cambia el rango, no se requiere param. Pero cuando se cambia el rango, el programa requiere que se reespecifique el tipo de la UNIF. Cuando se cambia el nombre, param no debe tener un blanco a la izquierda.

ALTLIST - lista las alternativas propuestas. Las alternativas probabilísticas se listan con sus respectivas equivalentes bajo certeza.

DISPLAY unname - exhibe las características de la función - utilidad asociada con "unname". Los factores de escala para los argumentos del atributo y su suma se listan para una -

MUF mientras que el rango y tipo se listan para una UNIF.

FRACTILE unname alname - exhibe la distribución acumulada - para "unname" en la alternativa "alname".

LOTERRY unname n - calcula el equivalente BC para una lotería relacionada con el atributo escalar "unname". El número n especifica el número de posibles consecuencias de la lotería. Estas se le piden al usuario con sus respectivas probabilidades y con esto calcula el EBC.

IMAP unname 1 unname 2 - Inicia un diálogo para generar una curva de indiferencia en el plano unname 1, unname 2. Se le pide al usuario un punto por el que pasará la curva. Luego el número de puntos que pide graficar y posteriormente que coloque los valores de unname 1 para ese número de puntos. - De esa forma el programa encuentra los valores correspondientes de unname 2.

STOP - Se usa este comando para terminar la sesión y el programa dá las gracias por usar MUFCAP.

ADDU unname 1 unname 2 - Inicia un diálogo que adiciona un atributo "unname 1" a la lista de argumentos de la MUF asociada con "unname 2".

DELU unname - Elimina el atributo "unname" de la estructura.

SWITCH unname unname 2 - Adiciona un atributo común "unname" - a la lista de argumentos de la MUF asociada con "unname 2" y elimina "unname" que era originalmente un argumento de la MUF.

INTERBK name - Si cualquier argumento atributo de la MUF - asociada con "unname" es un vector, su función utilidad es - una MUF anidada con su propia constante interna K. INTERBK calcula la K teóricamente para la MUF anidada que haría el anidamiento de los atributos internos innecesarios e imprime este con la K interna común.

## NOTAS ADICIONALES SOBRE INDIF1, INDIF2 e IMAP

El comando INDIF1 puede ser usado mejor considerando el segundo procedimiento para obtener las relativas  $K_i$ 's. Se muestra un ejemplo de eso en el problema del Aeropouerto. Si algún uname 1 o uname 2 es un vector atributo, cuando se usa INDIF1, INDIF2 o IMAP las consecuencias introducidas deben expresarse como pares de utilidad más que como pares de valores de atributo. La utilidad para un valor atributo es el resultado obtenido cuando esa cantidad del atributo (vector o escalar) es evaluada usando la función utilidad asociada con el nombre del atributo. Cuando usamos INDIF1, INDIF2 o IMAP, uname 1 uname 2 deben ser argumentos explícitos de la misma MUF. Esto significa que (uname 1, uname 2) deben ser preferencialmente independientes de los otros atributos. El programa pregunta cuando deben ser introducidos valores de utilidad o valores del atributo. En cualquier caso, es conveniente hacer algunos ejemplos para verificar sus resultados.