

Base conceptual de un sistema inteligente de apoyo a las decisiones multicriterio
Conceptual base of an intelligent system of support to the decisions multicriterion

Lynette García Pérez, Edith Martínez Delgado

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ciudad Habana. Cuba.

lgarciap@ind.cujae.edu.cu

Resumen

El proceso de toma de decisiones es inherente al ser humano y cada acción que realiza está determinada por la valoración previa de diferentes alternativas, pero cada vez más, las decisiones consideran múltiples criterios que están en conflicto y no exentas de subjetividad e incertidumbre que no pueden obviarse. Esto requiere de una técnica “inteligente” que haga más objetivo el proceso de decisión; a través de sistemas autónomos con énfasis en la información simbólica y el uso de representaciones declarativas del conocimiento. El presente trabajo centra su objetivo en la conceptualización de un Sistema de Ayuda a las Decisiones (SAD), que con un enfoque inteligente, permita evaluar alternativas discretas considerando múltiples criterios (atributos). La ponencia comienza con la presentación del problema multicriterio y métodos aplicables a éstos. Le siguen los elementos fundamentales de los SAD y el empleo de enfoques inteligentes en éstos. Se resume el estado del arte y tendencias modernas de enfoques inteligentes en MADM. Finalmente se plantean los requerimientos para la propuesta de diseño. Los resultados obtenidos de las fases investigativa y conceptual, conforman el esquema metodológico que sirve de base a la concepción del SAD siendo un componente fundamental, la técnica heurística e inteligente de solución.

Palabras clave: Decisiones multicriterio, Inteligencia Artificial, Sistemas de Apoyo a la Decisión (SAD).

Abstract

Decision making process are inherent to the human been. Every action performed is determined by a previous assessment of different alternatives. Nowadays, there are decisions, which cannot be obviated, that consider multiple criteria that are usually in conflict and no exempt of subjectivity and fuzziness. These situations require an intelligent technique to achieve a more objective decision making process through autonomous systems that emphasize symbolic information and the usage of declarative representative knowledge. This paper focuses its aim in the conceptualization of a decision support system (DSS) with an intelligent approach that allows evaluating discrete alternatives taking into consideration multiple criteria (attributes). This presentation start with a multicriteria problem introduction and methods applied to them. It is followed by the DSS essentials elements and the use of intelligent approaches in them. The state of art and modern intelligent focuses tendencies in MADM are also summarized. Finally the requirements for design proposal are stated. The results achieved in the research and conceptual phases are integrated to constitute a methodological scheme that is the base of DSS conception where the heuristic and intelligent solution technique is a basic component.

Key Words: *Multicriteria decisions, Decision Support System (DSS), Artificial Intelligence.*

Introducción

El hombre toma decisiones en todo momento en su vida cotidiana y esta acción depende de un gran número de factores conscientes o inconscientes, razonables o irrazonables y cuyo peso en la decisión poco tiene que ver con la calidad de la información contenida en ellos Kharrazi, G et al, (2003). Las grandes decisiones, usualmente de gran complejidad, exigen que el decisor acuda a modelos matemáticos para tomar la opción más adecuada y, son tomadas generalmente por directivos de

empresas. Estos problemas, a los que se enfrentan, en su mayoría no pueden ser resueltos a través de técnicas monocriteriales, siendo necesaria la aplicación de métodos que consideren múltiples criterios, lo cual complica considerablemente la obtención de la mejor alternativa de solución; ya que la existencia de múltiples factores a conlleva a obtener una solución de compromiso donde evidentemente no se puede satisfacer al máximo cada uno de éstos por estar en conflicto. Por otra parte, en este marco conceptual de la toma de decisiones multicriterio, donde las organizaciones deben valorar factores económicos, políticos, legales, medioambientales, etc.; juegan un papel importante la subjetividad y una posible incertidumbre, que no se pueden obviar. En cualquier caso, hay que considerar las preferencias de la Unidad Decisoria y resulta útil y necesario basar el proceso de tomar decisiones, en un algoritmo “inteligente” que sea capaz de disminuir la incertidumbre y hacer más objetivo el proceso de decidir. Precisamente, la Inteligencia Artificial es empleada en un número grande de áreas de la ciencia, particularmente en el campo de la toma de decisiones, utilizándose para resolver problemas a los que no es posible dar solución aplicando los métodos tradicionales de la Investigación de Operaciones.

Es objetivo de la presente investigación, conceptualizar un Sistema de Ayuda a las Decisiones (SAD), que con un enfoque inteligente, permita evaluar alternativas discretas considerando múltiples atributos.

Desarrollo

Presentación del problema multicriterio objeto de estudio teórico.

Un problema de decisión puede considerarse con múltiples criterios si existen al menos dos criterios en conflicto y como mínimo dos alternativas de solución. La toma de decisión con múltiples criterios (MCDM) abarca las decisiones con “Múltiples Objetivos” (MODM) y con “Múltiples Atributos” (MADM). Los primeros (MODM: Multiple Objective Decision Making) son problemas donde se definen las alternativas por medio de restricciones y en general, son infinitas. Los diversos criterios se expresan a partir de variables de decisión numéricas, Hernández B (2004). Al incluir tantas alternativas, se le reconoce como un problema de diseño que emplea para su solución técnicas matemáticas tradicionales de Optimización, Martínez, E. (1997). El segundo grupo de problemas (MADM: Multiple Attribute Decision Making) trabaja con un número finito y generalmente pequeño de alternativas (número discreto). Se considera como un problema de selección en el que no se pueden aplicar las herramientas clásicas para resolverlo Martínez, E. (1997). Un problema de este tipo puede estructurarse a través del siguiente planteamiento. Se tiene identificado un grupo discreto de alternativas de decisión, que deben ser evaluadas considerando un conjunto de criterios (llamados atributos). A partir de los elementos anteriores se puede estructurar una matriz de decisión que recoge con cada uno de sus elementos, la evaluación de cada alternativa atendiendo a cada uno de los atributos considerados. Adicionalmente se requiere considerar que no todos los atributos poseen la misma importancia para el problema objeto de estudio. Asociada a esta formulación y atendiendo a lo que se desea obtener, se pueden distinguir tres tipos de problemas con interés a ser resueltos. Éstos son: 1) *Problema Alfa*: el objetivo es aislar el subconjunto más pequeño de las mejores alternativas y rechazar las que parezcan malas. 2) *Problema Beta*: el objetivo es asignar cada alternativa a una categoría previamente determinada, lo que deriva en un problema de clasificación. 3) *Problema Gamma*: el objetivo es construir un preorden, lo más rico posible, de aquellas alternativas que resulten ser las más satisfactorias. Es justamente en la Toma de decisiones con múltiples atributos (MADM) y en particular el Problema Gamma, donde se enmarca la investigación que se presenta en esta ponencia.

Para resolver problemas de MADM existen diversos métodos y, la literatura especializada no reconoce uno como mejor. Sin embargo, éstos pueden ser empleados atendiendo a la situación que se tenga en cuanto al problema a resolver. Uno de los aspectos a tener en cuenta y que clasifica a éstos, es la disponibilidad de la información de preferencia; es decir, la medida en que se requiera o no tener conocimiento de la información sobre las preferencias del decisor [Kharrazi, G et al, (2003), Martínez E. (1997), Berg-Cross, G. (2002), Keppens J. et al (2002), Sánchez G. (2003)], lo que a su vez va marcando el proceso de aprendizaje que se va estableciendo con la solución del problema. Como se menciona anteriormente, en el proceso

de toma de decisiones, existe generalmente información cualitativa (además de la cuantitativa), lo que significa que en la evaluación de alternativas de decisión se incluyen opiniones subjetivas, que deben tenerse en cuenta. Por esto, es necesario utilizar métodos que puedan manejar este tipo de valoración, resultando de utilidad el empleo de técnicas y herramientas que, con un enfoque inteligente, apoyen el proceso de toma de decisiones con múltiples criterios. Algunos métodos desarrollados, permiten un aprendizaje del problema que se resuelve, sin embargo, no tienen incorporado un enfoque inteligente, a excepción del Método PRIAM que sin estar bien documentado, sugiere la utilización de técnicas inteligentes en algunos de sus pasos. Para que sea práctico el empleo de un método matemático y en particular uno multicriterio, cualquier sea éste, se requiere de un sistema informático y, en este sentido se evidencia que ha habido una evolución; desarrollándose asimismo un área de investigación en el que científicos de muchos perfiles se involucran en los llamados SAD.

Sistemas de Apoyo a la Decisión.

Concepto, Clasificación y Características Fundamentales de los SAD.

Múltiples son las definiciones dadas. Desde la década del 80 hasta la actualidad se ha producido un desarrollo en esta área y se ha vinculado considerablemente con la Inteligencia Artificial; pero no es hasta el año 1998 que French da a conocer una definición que se aproxima a lo que pretende lograr un SAD y el que se adopta en este trabajo y, lo define como “un sistema informático que apoya el proceso de toma de decisiones, ayudando a los decisores a formar y a explorar las implicaciones de sus juicios y, por lo tanto, a tomar decisiones basadas en el entendimiento” (Jiménez Martín 2002). Los primeros SAD clasifican como transaccionales y surgen con las primeras aplicaciones empresariales de los equipos computacionales, para realizar de forma automatizada tareas administrativas. Sus usuarios tienen perfiles bajos o medios en cuanto a responsabilidad y capacidad de tomar una decisión. Por otra parte, están los SAD que clasifican como Informacionales, los que utilizan los datos almacenados en los sistemas informáticos de las empresas para generar información útil, aplicable en los procesos de toma de decisiones. También pueden incorporar datos procedentes de fuentes externas para su análisis. Sus usuarios tienen perfiles altos en cuanto a su responsabilidad y capacidad para tomar una decisión. A su vez éstos incluyen a los Sistemas de soporte a la toma de decisiones (DSS: Decision Support Systems), Sistemas de Información para Ejecutivos (EIS; Executive Information Systems), Sistemas para la toma de decisiones en grupo (GDSS: Group Decision Support Systems) y Sistemas expertos de soporte para la toma de decisiones (EDSS: Expert Decision Support Systems) (Hernández Bermúdez 2004 c). A continuación se describen las características fundamentales que presentan estos SAD

Los DSS son los SAD concebidos como sistemas que permitan la interacción de forma amigable con el usuario y, sean capaces de dar respuestas en tiempo real. Además deben brindar apoyo al proceso de toma de decisiones estructuradas o no, permitir ser utilizados por usuarios de diferentes áreas y de modo frecuente, posibilitar la adaptación a diferentes estilos administrativos y deben ser diseñados para la utilización de todo tipo de expertos sin la necesidad de un especialista en Informática.

Los GDSS son los sistemas para la toma de decisiones en grupo que pueden definirse como sistemas interactivos basados en computadora, que facilitan la solución de problemas no estructurados por un conjunto de tomadores de decisiones que trabajan en equipo. Estos sistemas deben estar integrados por un líder o facilitador, un solicitante y los participantes. Entre sus principales características están las siguientes: deben ser accesibles para usuarios con diferente nivel de conocimiento computacional y de soporte a la decisión, deben contener mecanismos para evitar el desarrollo de conductas negativas en el grupo, deben motivar a los miembros del grupo a participar de manera activa, deben contar con una sala de decisión la cual debe contener una red local de decisión y un sistema de teleconferencia.

Los EIS son los sistemas ejecutivos de información y pueden definirse como sistemas computacionales que proveen al ejecutivo acceso fácil a la información interna y externa del negocio con el fin de dar seguimiento a los factores críticos del mismo. Se basan en la información presente dejando a un lado los escenarios futuros. Como principales características se

señala que deben ser diseñados para cubrir las necesidades específicas de la alta administración, deben extraer, filtrar, comprimir y dar seguimiento a la información crítica del negocio, estar concebidos para la interacción de los ejecutivos de forma directa con el sistema y por último, deben garantizar el acceso a la información que se encuentra en línea.

Los EDSS son los sistemas expertos de soporte a la decisión y se definen como sistemas computacionales interactivos que permiten la creación de bases de conocimiento, las cuales una vez cargadas responden a preguntas, despliegan y sugieren cursos de acción; emulando el proceso de razonamiento de un experto para resolver problemas en un área específica del conocimiento humano (Hernández Bermúdez 2004 c). Éstos son considerados Sistemas inteligentes de apoyo a la decisión (SIAD o IDSS¹) (Castro Contreras 2007) que extienden la noción del “apoyo” a la decisión, agregando “técnicas de Inteligencia Artificial” tales como Bases de conocimiento, Redes Neuronales, Algoritmos Genéticos y, Modelos de aprendizaje.

A continuación se tratan un grupo de técnicas de Inteligencia Artificial que se utilizan en esta área de investigación.

Empleo de la Inteligencia Artificial en los SAD.

El surgimiento de la Inteligencia Artificial (IA) tiene lugar aproximadamente cuando el uso de las computadoras va más allá de la operación “calcular”. El hombre ha tratado desde entonces de idear máquinas que cada vez funcionen de manera más rápida y además de forma inteligente. Es por eso que la IA se ha convertido en un área de la ciencia que se concentra en construir máquinas que simulen el comportamiento inteligente del ser humano; sobre todo en la implementación de software que soporten lo que los humanos consideran inteligencia (Li 2007). Ha sido utilizada en numerosos campos, convirtiéndose en un área multidisciplinaria que abarca la Informática, la Neurociencia, la Filosofía, la Psicología, la Ingeniería, la Lingüística, entre otras (China 1998). Cabría preguntarse entonces ¿Qué es la IA? Múltiples definiciones se han publicado, algunas de ellas en el ámbito de la Ingeniería. La definición que se asume en este trabajo, es precisamente la que considera a la IA como la parte de la Ingeniería que se ocupa de construir sistemas inteligentes, definiendo estos últimos, como aquellos que exhiben alguna de las características de la inteligencia que poseen los humanos (China 1998). Una de las ramas de las ciencias, en las cuales está jugando un papel importante, es en la toma de decisiones. Muchos expertos en el mundo se apoyan en un sistema de soporte a la decisión para lograr uno o más objetivos a alcanzar. Estos sistemas, en su desarrollo, han ido incorporando elementos de inteligencia para hacer más eficiente el proceso de toma de decisiones.

Tanto la IA como el Análisis de Decisiones se basan en el estudio de modelos formales del conocimiento humano y de la experiencia, sin embargo la primera se distingue por su interés en obtener sistemas autónomos de solución de problemas poniendo énfasis en la información simbólica y no numérica y el uso de representaciones declarativas del conocimiento (Jiménez Martín 2002; Jiménez, Ríos-Insua et al. 2003). La mayoría de los IDSS¹ combinan ambos campos de la ciencia, de manera que la IA no sustituye en ningún momento al experto, sino que le ayuda a tomar mejores decisiones.

Estado del Arte y Tendencias actuales de enfoques inteligentes en MADM.

La experiencia teórica-práctica de las autoras del presente trabajo, permiten exponer sobre el intento y(o) empleo de diversas técnicas de IA en la toma de decisiones con múltiples atributos; pudiéndose plantear en forma resumida que aquellas que resultan más significativas y que se exponen en la literatura especializada más claramente, son los Sistemas Expertos, la Lógica Difusa, el razonamiento basado en casos, la Minería de Datos, así como la Combinación de las técnicas anteriores. A continuación se profundiza en éstas.

Los Sistemas Expertos son productos de la IA que incorporan el conocimiento de una o varias personas experimentadas en algún campo del conocimiento, debiéndose separar claramente de esta área aquellos sistemas que agregan conocimientos

¹ IDSS: Intelligent Decision Support System

algorítmicos o sistematizados. Una de las condiciones necesarias para que un sistema informático esté contenido en esta área, es que el conocimiento incorporado sea esencialmente heurístico. Un SE sobre la base del conocimiento almacenado, debe ser capaz de interactuar con el mundo real en la misma forma que lo haría el experto humano y además, de justificar las razones que le llevan a actuar como lo hace (Chinea 1998). Sus tres componentes fundamentales son la base de conocimiento, el motor de inferencia y la interfaz de usuario (Reidsema and Szczerbicki 2002; Li 2007). La base de conocimientos es una colección de hechos y heurísticas que representan el conocimiento específico para resolver un problema en particular. Éste puede ser codificado en reglas de producción o redes semánticas. El motor de inferencia está separado de la base de conocimientos y es utilizado para obtener soluciones inferidas o razonadas del problema, a través de varias estrategias de razonamiento para controlar la aplicación de los hechos y el conocimiento heurístico en la base de conocimiento. La Interfaz de usuario interactúa con el usuario, aceptando entradas y generando salidas en el proceso de llegar a una solución; es donde se le muestra al usuario una explicación del proceso de razonamiento ocurrido, así como, las suposiciones que se hacen para llegar a una solución del problema (Reidsema and Szczerbicki 2002).

En el ámbito de la toma de decisiones podría ser útil la implementación de un Sistema Experto de Apoyo a la Decisión (EDSS) en un dominio estructurado donde es crucial el razonamiento cualitativo para resolver problemas y está disponible el conocimiento del experto. Es apropiado para apoyar decisiones repetitivas (Ting-peng 1988). En la actualidad existen software que utilizan los sistemas expertos para la toma de decisión multiatributo como es el caso de DEX (Decision Expert), que se considera un Shell de Sistema Experto que proporciona herramientas para construir y verificar una base de conocimiento, evaluar las opciones y explicar los resultados (Bohanec and Rajkovič 1990).

La Lógica Difusa se justifica en el proceso de toma de decisiones ante información imprecisa, como ocurre generalmente; es decir ante algún nivel de incertidumbre. Ésta puede encontrarse [Morillas, A., Díaz B. y González J. (1997)] en criterios para la comparación y agregación de alternativas, como en los métodos de ordenación, en los que va normalmente implícita la definición de algún concepto de distancia entre las alternativas. Los algoritmos multiatributo clásicos, muchas veces no tienen forma de representar la información imprecisa, proveniente en gran parte de las valoraciones subjetivas que realiza el decisor. Es precisamente en esta situación que se utiliza la Lógica Difusa. Sin entrar en definiciones matemáticas demasiado complicadas se expone brevemente en qué consiste ésta. Matemáticamente cuando existe un conjunto determinado, los elementos pertenecen o no a éste, sin embargo para un conjunto difuso, la pertenencia de un elemento no es cuestión de todo o nada, sino que son posibles diferentes grados de pertenencia. La función de pertenencia puede tomar cualquier valor en el intervalo $[0,1]$. Además, aunque es un hecho matemático que la intersección de un conjunto con su complemento da lugar al conjunto vacío, trabajando con conjuntos difusos esto casi nunca sucede, salvo que se refiera a un conjunto ordinario, quedando éstos como casos particulares de los conjuntos difusos (Morillas Raya, Díaz Diez et al. 1997). Para la toma de decisiones con múltiples atributos se han ideado metodologías y algoritmos que permiten resolver los problemas aplicando Lógica Difusa, tal es el caso de la FMADM (Fuzzy Multiple Attributes Decision Making) (Sii, Ruxton et al. 2002; Acaroglu, Feridunoglu et al. 2006) que se basa en la Teoría de los conjuntos difusos y, se utiliza mayormente en disciplinas como Minería y Geología. Cuenta con el método de Yager que puede ser utilizado indistintamente para problemas de MODM y MADM (Acaroglu, Feridunoglu et al. 2006).

La utilización de la Lógica Difusa aparece con bastante frecuencia combinada con otras técnicas para resolver problemas multiatributo; pudiéndose citar a Sistemas Neuroborrosos, que son utilizados en problemas de clasificación multiatributo y que surgen para superar las desventajas de las Redes Neuronales y de los Sistemas Borrosos. Los enfoques neuroborrosos constituyen una vía para encontrar de forma heurística, los parámetros de un sistema borroso a través del procesamiento de datos de ejemplos sometidos a un algoritmo de entrenamiento. La implementación de un sistema de este tipo siempre debe permitir al usuario supervisar e interpretar el proceso de aprendizaje, cuyo éxito, al igual que en las Redes Neuronales, no está

garantizado (Puente, de la Fuente et al. 2004). La metodología NEFCLASS (NEuro Fuzzy CLASSification), que soporta este tipo de sistemas, constituye una herramienta de tipo neuroborroso que facilita obtener reglas de clasificación borrosas partiendo de un conjunto de datos etiquetados. Ésta permite (Puente, de la Fuente et al. 2004) crear un clasificador borroso mediante algoritmos de aprendizaje estructurados en forma de reglas, así como ajustar las funciones de pertenencia asociadas a las variables borrosas del modelo para reducir la dimensión de la base de reglas mediante una estrategia de poda.

La Minería de Datos está muy relacionada con el crecimiento acelerado del volumen de información existente en casi todas las esferas de la sociedad, siendo necesaria la concepción de técnicas que no solo obtengan información valiosa, sino que ayude al especialista a realizar el proceso de toma de decisiones. La Minería de Datos ha sido ampliamente utilizada para este fin. Se conoce como Minería de Datos (DM: Data Mining) al proceso de encontrar información relevante, clave y difícil de obtener (como correlaciones, tendencias, patrones, regularidades o modelos), a menudo oculta y sepultada en grandes volúmenes de datos (Moriello 1999).

Los DSS más recientes, que se apoyan en tecnologías como Data Warehouses, Data Cube y OLAP, incorporan cada día más elementos de Minería de datos (Bohanec and Zupan). Específicamente en la toma de decisiones con múltiples atributos se ha ideado un método de Minería de Datos que desarrolla modelos multiatributo jerárquicos llamado HINT, que es utilizado fundamentalmente en métodos donde se necesita información cualitativa. Dado un conjunto de datos preclasificados, HINT puede considerarse un método de MD que produce una definición del concepto objetivo, en términos de una jerarquía de atributos intermedios y sus definiciones. Puede ser empleado para construir automáticamente un modelo de decisión jerárquico de los datos y es capaz de incorporar conocimiento del dominio existente en forma de un modelo de decisión jerárquico parcialmente especificado, por ejemplo, dado un modelo de decisión, puede ser usado para descubrir las funciones de utilidad fundamentales, o puede usar la información sobre la estructura con solo algunas de las funciones de utilidad definidas, de manera que utilice los datos para inducir las funciones de utilidad restantes. Pero la característica más relevante de este método es que construye los modelos de decisión interactuando con el experto, el que puede expresar conocimiento parcial sobre la estructura o sobre la función de utilidad y, el resto del modelo es inducido a partir de los datos (Bohanec, Zupan et al. 1999).

Por otra parte, aunque no se refiere gran utilización en la MADM, de forma aislada se expone el empleo de un algoritmo genético para la toma de decisiones multicriterio en espacios discretos, específicamente en la toma de decisiones en grupo. Se describe la utilización de la Lógica Difusa para encontrar una relación de superación borrosa que integre las preferencias del grupo de expertos y el algoritmo genético, para así obtener una jerarquía de las acciones potenciales según un orden de preferencia determinado. (López 2000).

Otras técnicas que se emplean frecuentemente en el diseño de sistemas de soporte a la decisión son el Razonamiento Basado en Casos (CBR: Case Based Reasoning), el Razonamiento Basado en Reglas (RBR: Rule Based Reasoning) y el Razonamiento Basado en Modelos (MBR: Model Based Reasoning). Aunque en la literatura se reflejan con gran aplicación, es de señalar sin embargo, que en los DSS donde se plantea su utilización, solo se presenta una breve descripción del problema objeto de estudio y la solución a la que se llega; sin especificar la consideración de los atributos ni el cómo se realiza la aplicación de la técnica inteligente; no obstante se puede concluir por una parte, que se trata de una aplicación a un problema del tipo MADM y por otra, la presentación incompleta constata lo actual y necesario de realizar la investigación en esta temática.

El Razonamiento Basado en Casos se soporta en que el ser humano, con mucha frecuencia toma decisiones basado en sus experiencias personales anteriores, realizando asociaciones del problema real al que se está enfrentando, con alguno que tiene

cierto parecido. Éste es precisamente el principio fundamental del Razonamiento Basado en Casos. Según la bibliografía consultada puede decirse que el CBR es un paradigma de razonamiento que explora las analogías y similitudes de una situación con problemas previamente resueltos (Sun, Finnie et al. 2003). Es capaz de utilizar el conocimiento específico de una experiencia anterior en situaciones problemáticas concretas (casos), de manera que un nuevo problema se resuelve encontrando un caso anterior análogo y reutilizándolo en la situación que se presenta. El CBR cuenta con un mecanismo de aprendizaje sistemático basado en el almacenamiento de nuevas experiencias que pueden ser utilizadas para resolver situaciones similares (Aamodt 1994). La representación de un caso tiene dos partes fundamentales: la descripción del problema y la descripción de la solución (Wiese, Stahl et al. 2005). Además, la estructura de la técnica consta de cuatro etapas fundamentales que forman un ciclo que describe el proceso: 1) Devolver (Retrieve) los casos más parecidos. En esta etapa, un nuevo problema se compara con casos similares guardados en la base de casos. 2) Reutilizar (Reuse) la solución propuesta en los casos para intentar resolver el Problema actual. 3) Adaptar (Revise) la solución propuesta al problema que se está queriendo resolver (en caso de ser necesario). 4) Almacenar (Retain) la parte de esta experiencia que puede ser utilizada en otro caso.

El Razonamiento Basado en Modelos pobremente caracterizado, es una representación de un sistema con partes interactivas y las representaciones de esas interacciones (Nersessian 2006). Este tipo de Razonamiento es un paradigma en el cual se realiza una representación del problema a resolver y a partir de la construcción o adaptación de ese modelo, se lleva a cabo un proceso de razonamiento en el cual se obtienen reglas de inferencia (Berg-Cross 2002). Esta inferencia puede ser específica o genérica, es decir, se puede aplicar tanto a un modelo particular como a un modelo entendido como modelo tipo, que representa una clase de modelos (Nersessian 2006).

Análisis y discusión de los Resultados. Requerimientos para la propuesta de diseño.

Como punto de partida para el análisis de las heurísticas inteligentes implementadas en los problemas multiatributo y sobre esta base realizar las propuestas de implementación; es necesario considerar los pasos a seguir para llegar a una solución satisfactoria de un problema de MADM. Brevemente se puede plantear que primeramente se debe realizar 1) la “Estructuración del problema” que incluye

la identificación de las alternativas y de los atributos. Seguidamente se debe pasar a 2) la Evaluación. Para ello es necesario considerar la ponderación de los criterios y la valoración de las alternativas de acuerdo a los criterios. Finalmente se realiza la 3) Selección de la alternativa más adecuada, según el orden obtenido.

Según la literatura especializada, la mayoría de las técnicas inteligentes mencionadas parten de un problema ya estructurado. Solo la Minería de Datos se refiere a este primer paso, pues puede ser utilizada para generar un árbol de atributos a partir de una base de experiencias pasadas. Son para los pasos 2 y 3 que precisamente se reporta mayor aplicación de técnicas como la Lógica Difusa y los Sistemas Expertos, la primera en mayor medida para poder expresar las preferencias del decisor o los decisores de forma lingüística. Ambas técnicas, brindan un orden de las alternativas identificadas, que es precisamente el objetivo del problema Gamma, objeto de estudio teórico, por lo que se recomienda que cuando se necesite resolver un problema de este tipo, se utilicen las técnicas, Lógica Difusa y los Sistemas Expertos simultáneamente, para obtener un preorden satisfactorio de las alternativas de solución.

Como parte de la investigación se analizaron además, un grupo de SAD documentados, con el objetivo de determinar cómo se utilizan las técnicas inteligentes y cuál de ellas se presenta con mayor frecuencia atendiendo también al área en que se utiliza el Sistema. Se examinaron veintiséis DSS, dieciséis de los cuales se utilizan para la toma de decisiones individual tanto en

dominios complejos como en otros que no lo son tanto. Los restantes diez se utilizan para problemas de toma de decisión en grupo y problemas Gamma.

Para la toma de decisiones con múltiples atributos no se ha utilizado con regularidad una técnica de Inteligencia Artificial específica, sino que se utilizan varias de ellas de acuerdo al resultado esperado; muchas veces incluso se combinan para lograr que el sistema preste la ayuda que se precisa. Dentro de las técnicas de IA que se detecta que en los DSS se encuentran, Sistemas Expertos, Lógica Difusa, Minería de Datos, Razonamiento Basado en Casos, Razonamiento Basado en Modelos, Redes Neuronales, Algoritmos Genéticos y Razonamiento basado en Reglas. La más utilizada (según el estudio referido) es la del Razonamiento Basado en Casos que aparece en nueve sistemas: seis aplicada como única técnica y los restantes tres combinado con Razonamiento Basado en Reglas, en Modelos, así como con Algoritmos Genéticos y siempre para problemas de toma de decisión individual.

Los Sistemas Expertos se utilizan en cuatro DSS como única técnica para problemas de toma de decisión individual, solo se detecta su combinación con la Lógica Difusa y la Minería de Datos. Ésta última, en menor escala, es aplicada en problemas de toma de decisiones individual y en grupo.

Sin embargo la Lógica Difusa se presenta con mucha frecuencia combinada con otras técnicas como Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales y Sistemas Expertos. Es utilizada en problemas de toma de decisión individual, en grupo y en problemas de clasificación y solo en dos casos aparece como única técnica inteligente.

Según la consulta bibliográfica realizada, son diversas las áreas de aplicación de los Sistemas Inteligentes de Ayuda a la Decisión. Aunque indudablemente existe un predominio en las Ciencias Médicas, se resumen un grupo de estas áreas: Criminalística (Keppens and Zeleznikow 2002), Diagnóstico de fallos (Liu and Liu 2001; Liu and Liu 2003; Žnidaršič and Bohanec 2004), Entrenamiento de bomberos. (Lewis 2003), Gestión de Inventarios (Puente, de la Fuente et al. 2004), Industria de armamento (Castrigno, Engel et al. 2006), Medicina (Althoff, Bergmann et al. 1998; Bohanec, Zupan et al. 1999; Kharrazi, Paterson et al. 2003 c; Nilsson and Funk 2004), Medio Ambiente (Morillas Raya, Díaz Diez et al. 1997; Wiese, Stahl et al. 2005), Minería y geología (Dimitriadi and Larichev 2005), Asignación de préstamos de vivienda (Bohanec, Zupan et al. 1997), Tratamiento de riesgos (Sánchez 2003; Sii and Wang 2003; Kumar and Viswanadham 2007).

Conclusiones

El Estado del arte permite concluir que para la toma de decisiones con múltiples atributos no existe una técnica utilizada regularmente para un tipo de problema determinado, ni aún para uno de los tres tipos existentes. En cuanto al empleo más conveniente de las técnicas inteligentes; atendiendo a los requerimientos del problema Gamma, objeto de estudio teórico, es necesaria la incorporación de técnicas de Inteligencia Artificial, sobre todo para modelar de forma lingüística las preferencias del decisor cuando se está en presencia de atributos cualitativos, sin embargo, no se han encontrado algoritmos multiatributo que integren la Inteligencia Artificial y estén correctamente documentados.

A pesar de su complejidad, el Razonamiento Basado en Casos es una de las técnicas más utilizadas en esta área. Sin embargo, la Lógica Difusa se presenta con mayor frecuencia y factibilidad para ser combinada con las otras técnicas descritas, predominando su combinación con los Sistemas Expertos.

Referencias Bibliográficas.

- Aamodt, A. "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Metodological Variations, and System Approaches." AI Communications.1994.7n:(1).
- Acaroglu, O., C. Feridunoglu, et al. "Selection of roadheaders by fuzzy multiple attribute decision making method." Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining & Metallurgy, Section A.2006.115n:(3): 91-98.
- Althoff, K.-D., R. Bergmann, et al. "Case-Based Reasoning for Medical Decision Support Tasks: The INRECA Approach." Artificial Intelligence in Medicine Journal.1998.Vol. 12n:(1): 25-41.
- Berg-Cross, G.Part of -2 Hour Tutorial for Biomedical Computing Interest Group (BCIG). Biomedical Informatics Tutorial (BCIG-BITs).(2002) [Disponible en: http://www.altum.com/bcig/events/tutorials/2002/2002_12_gary_bits_2.pdf].
- Bohanec, M. and V. Rajkovič (1990). DEX: An Expert System Shell for Decision Support. Sistemica. **1**: 145–157.
- Bohanec, M. and B. Zupan.Integrating Decision Support and Data Mining by Hierarchical Multi-Attribute Decision Models.([Disponible en: <http://www.informatik.uni-freiburg.de/~ml/ecmlpkdd/WS-Proceedings/w04/paper5.pdf>].
- Bohanec, M., B. Zupan, et al.A function-decomposition method for development of hierarchical multi-attribute decision models.(1997) [Disponible en: <http://www.ailab.si/blaz/papers/1997isdss.pdf>].
- Bohanec, M., B. Zupan, et al.Applications of Qualitative Multi-Attribute Decision Models in Health Care.(1999) [Disponible en: <http://www.ailab.si/blaz/papers/ijmiQualModels2000.pdf>].
- Castrigno, J. A., S. J. Engel, et al. "Vehicle Health Management: Architectures andTechnologies." Technology Review Journal.2006.
- Castro Contreras, M. A. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN FRAMEWORK PARA LA FORMACIÓN DE CARTERAS DE PROYECTOS DE I&D EN ORGANIZACIONES PÚBLICAS. Universidad Autónoma de Nuevo León. 2007. 196.
- China, R. M. A. Aportaciones metodológicas basadas en simulación e inteligencia artificial para la toma de decisiones en la gerencia hospitalaria. UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. 1998. 262.
- Dimitriadi, G. and O. Larichev. "Decision Support System and the ZAPROS-III Method for Ranking the Multiattribute Alternatives with Verbal Quality Estimates." Automation & Remote Control.2005.66n:(8): 1322-1335.
- Hernández Bermúdez, B. Propuesta de modelo de un sistema de información para la toma de decisiones en el proceso de asignación de recursos en los Establecimientos de Atención Médica. 2004 c.
- Jiménez, A., S. Ríos-Insua, et al. (2003). GENERIC MULTI-ATTRIBUTE ANALYSIS : UN SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN. Boletín. **19**.
- Jiménez Martín, A. Un sistema de ayuda a la decisión multiatributo con asignaciones imprecisas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2002. 302.
- Keppens, J. and J. Zeleznikow (2002). A Model Based Reasoning Approach for Generating Plausible Crime Scenarios from Evidence.
- Kharrazi, H. H. K., G. Paterson, et al. (2003 c). Transforming Bone Marrow Transplantation Data into a Case-Based Reasoning System for Decision Support, Dalhousie University. **2**.

- Kumar, V. and N. Viswanadham (2007). A CBR-based Decision Support System Framework for Construction Supply Chain Risk Management. 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Scottsdale, AZ, USA, IEEE
- Lewis, A. "RIMSAT DSS Project: Integrating Model-Based and Case-Based Reasoning."2003.
- Li, Y. An Intelligent, Knowledge-based Multiple Criteria Decision Making Advisor for Systems Design. School of Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology. 2007. 312.
- Liu, S.-C. and S.-Y. Liu. "An Efficient Expert System for Air Compressor Troubleshooting." Expert Systems.2001.18n:(4).
- Liu, S. C. and S. Y. Liu. "An Efficient Expert System for Machine Fault Diagnosis." International Journal of Advanced Manufacturing Technology.2003.21n:(9): 691-698.
- López, J. C. L. (2000). Aplicación de los Algoritmos Genéticos a la Solución del Problema de Decisión Multicriterio Individual y en Grupo. Computación y Sistemas. **4**.
- Moriello, S. A. Datamining: Oráculos de silicio Buceando en un mar de información.(1999) [Disponible en: <http://www.redcientifica.com/doc/doc199911070001.html>].
- Morillas Raya, A., B. Díaz Diez, et al. (1997). Análisis de concordancia comparativa difusa . Propuesta y evaluación mediante un caso práctico. ESTADÍSTICA ESPAÑOLA. **39**.
- Nersessian, N. J. "Model-Based Reasoning in Distributed Cognitive Systems." Philosophy of Science.2006.73n:(5): 699-709.
- Nilsson, M. and P. Funk. A Multi-Modal Decision Support System for Respiratory Sinus Arrhythmia. 2004.
- Puente, J., D. de la Fuente, et al. Extracción de reglas borrosas en problemas de clasificación multiatributo. El enfoque NEFCLASS.(2004) [Disponible en: <http://io.us.es/cio2004/comunicaciones/447-453.pdf>].
- Reidsema, C. and E. Szczerbicki. "Review of Intelligent Software Architectures for the Development of An Intelligent Decision Support System for Design Process Planning in Concurrent Engineering." Cybernetics & Systems.2002.33n:(6): 629-658.
- Sánchez, G. O. (2003). EL IDS: UN NUEVO SISTEMA INTEGRADO DE TOMA DE DECISIONES.
- Sii, H. S., T. Ruxton, et al. "Synthesis using fuzzy set theory and a Dempster Shafer-based approach to compromise decision-making with multiple-attributes applied to risk control options selection." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part E -- Journal of Process Mechanical Engineering.2002.216n:(1): 15-29.
- Sii, H. S. and J. Wang. "A design-decision support framework for evaluation of design options/proposals using a composite structure methodology based on the approximate reasoning approach and the evidential reasoning method." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part E -- Journal of Process Mechanical Engineering.2003.217n:(1): 59-76.
- Sun, Z., G. Finnie, et al. (2003). A similarity-based Theory of Case-based Reasoning - I, School of Information Technology, Bond University.
- Ting-peng, L. "Expert Systems as Decision Aids: Issues and Strategies." Journal of Information Systems.1988.2n:(2): 41.
- Wiese, J., A. Stahl, et al. "Applying and optimizing case-based reasoning for wastewater treatment systems." AI Communications.2005.18n:(4): 269-279.
- Žnidaršič, M. and M. Bohanec. Revision of Qualitative Multi-Attribute Decision Models.(2004) [Disponible en: http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/pub/dss2004_Znidarsic_Bohanec.pdf].

