

LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN

SIXTO RÍOS INSUA, ANTONIO JIMÉNEZ y ALFONSO MATEOS

RESUMEN

La toma de decisiones es una de las capacidades inherentes de los seres humanos desde su existencia. Sin embargo, en la actualidad los individuos se enfrentan con situaciones de gran complejidad utilizando amplios conocimientos e información, siendo por ello la utilización de sistemas de ayuda a la decisión computerizados, un apoyo importante en los procesos de decisión. Como consecuencia de ello, exponemos aquí diversas características que deben cumplir tales sistemas para que resulten útiles y eficientes en su aplicación a problemas reales complejos.

Comenzaremos con un breve estudio del desarrollo histórico de los sistemas de ayuda a la decisión para, posteriormente, presentar algunos de los avances actuales, mostrando sus posibles ventajas e inconvenientes y el camino futuro de tales sistemas, que estará sustentado en gran parte en la denominada teoría cibernética de tercer orden.

1. INTRODUCCIÓN

Las facultades del ser humano para la toma de decisiones han estado presentes desde los principios de su existencia, pudiéndose decir que los *Sistemas de Ayuda a la Decisión* (SAD) «tienen vida» desde tiempos antiguos, ya que se utilizaban diferentes fuentes de conocimiento y criterios para la resolución de múltiples problemas existenciales. En los tiempos antiguos era fundamental el apoyo de sacerdotes y profetas en la toma de decisiones, que se han sustituido en tiempos modernos por científicos o expertos en diferentes disciplinas, consultores, libros y, en época más reciente, por la importante fuente de información que es Internet. Sin embargo, sin entrar en la fuente de conocimiento, se podría decir que toda la información está erigida de una u otra forma por los seres humanos mostrando sus sesgos distintivos, ya que la propia información disponible puede ser el resultado de perspicaces decisiones. En todo caso, el grado de diversidad en los problemas crece de manera continua, enfrentándose las personas con un número de dimensiones cada vez mayor, y los esquemas o guiones de nuestras conducciones y estilos de vida se multiplican y dirigen hacia muy distintas metas, muchas veces conflictivas, lo que provoca una creciente necesidad de ayuda en la toma de decisiones.

Desde un punto de vista histórico, podemos decir que los primeros SAD computerizados se desarrollan en la década de los años sesenta en el contexto de la denominada *computación distribuida*. Así, los sistemas de decisión para la gestión, desarrollados al final de la década de los años sesenta, se hicieron más robustos en los setenta con la importante investigación y desarrollo llevado a cabo. Posteriormente, en la década de los ochenta, se mostró especial interés por la construcción de SAD para la planificación financiera y apoyo a la decisión de grupo, concibiéndose también los sistemas de información para ejecutivos, así como los sistemas inteligentes de negocios orientados por datos.

Los sistemas de almacenamiento de datos y los de procesamiento analítico on-line se comenzaron a construir al principio de los años noventa, seguidos posteriormente por los SAD sustentados en la Web. En definitiva, estos sistemas referenciados constituyeron las tecnologías base motivadas por la demanda de las diferentes disciplinas científicas.

Las tecnologías orientadas a objetos para la construcción de sistemas de decisión con capacidades reutilizables surgieron en 1993, después de un importante cambio tecnológico al pasar de los SAD sustentados por ordenadores centrales (mainframe) a SAD apoyados en cliente/servidor. A mediados de los noventa, el almacenamiento de datos y la World Wide Web comenzaron a ejercer influencia sobre los usuarios y científicos interesados en las tecnologías de ayuda a la decisión, produciendo un notable avance en el desarrollo de los SAD.

En lo que sigue plantearemos algunos aspectos que motivan la importante ayuda que pueden ser los SAD, así como algunos desarrollos en época reciente y finalizaremos indicando ciertos aspectos sobre el futuro de este área.

2. LA NECESIDAD DE SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN

Podemos definir un SAD como una clase específica de sistemas de información computerizados que apoyan la toma de decisiones, Ríos Insua *et al.* (2002). Los modernos SAD son sistemas y subsistemas interactivos basados en el ordenador para ayudar a decisores en el manejo de datos, documentación, conocimiento y teorías y/o modelos para identificar y resolver problemas para alcanzar decisiones bien conformadas. Como señalan diferentes especialistas en este campo, las tecnologías SAD están cambiando rápidamente y surgiendo múltiples innovaciones en relación con esta clase de sistemas. Se considera que la Web es donde se encuentra el mecanismo de interacción para el apoyo a la investigación en el área de los SAD y en todo caso, la visita de diferentes páginas Web puede ser un gran experiencia para el aprendizaje de las personas interesadas, no desechando la conveniencia de ampliar los conocimientos con mayor contenido académico que puede encontrarse en libros y artículos.

Como ya apuntábamos, el ser humano vive en un mundo en continuo cambio y crecimiento del número de dimensiones. Es claro que en un espacio multidimensional y con un crecimiento cada vez mayor, el número y la complejidad de las posibles soluciones irá aumentando aunque el tiempo para el que una solución permanece eficiente es probable que vaya disminuyendo. En particular, las personas implicadas en áreas como comercio, industria, servicios u organismos de gobierno conllevan que

para un cierto período de tiempo surja un mayor número de posibles alternativas y consecuencias que deban tenerse en cuenta, así como un menor tiempo de revisión de las posibles alternativas seleccionadas. En definitiva, esto significa que habrá una necesidad creciente de SAD cada vez más elaborados y sofisticados, ya que una única persona o un grupo reducido de personas no será capaz de supervisar todas las posibles elecciones con sus ventajas e inconvenientes. Más aún, la creciente necesidad por los SAD conlleva una demanda de evolución en el tiempo conjuntamente con el área o tema en el que se apoya para su resolución.

La formación y el aprendizaje de muchos directivos, gestores y administrativos se basa aún en teorías y procedimientos de situaciones pasadas, lo que conlleva un grado de conocimiento insuficiente para la resolución de determinados problemas actuales. Podemos afirmar que los SAD desarrollados en los últimos tiempos pueden contribuir al proceso de aprendizaje de los usuarios, pudiéndose además considerar como herramientas para el estudio y la actualización de técnicas y ampliación de las capacidades y habilidades de los usuarios. Así, por ejemplo, los SAD con capacidad de razonamiento basada en casos pueden ayudar a los usuarios a la toma de mejores decisiones y al mismo tiempo mostrarles nuevas alternativas de acción aplicables a su campo de trabajo. En muchas situaciones tales sistemas se convierten en instrumentos de diálogo que apoyan y respaldan la comunicación entre los usuarios y la base de datos del sistema. Mediante la estimulación del diálogo entre usuarios, el sistema podría ayudar a alcanzar una decisión consensuada hacia metas próximas. Así, hablando de un modo ideal, los usuarios deberían tener la posibilidad de actualizar la base de datos y adaptar su diálogo a sus necesidades presentes de manera que el sistema no se convierta en obsoleto.

El mundo actual en que hay una tendencia creciente hacia la automatización y la cibernética y donde cada vez más funciones humanas se traspasan a los ordenadores, está conduciendo a que los seres humanos y sus ordenadores se comporten como un nuevo organismo estudioso de este mundo y que actúa sobre él. Los SAD se requieren para una búsqueda más allá, pero debemos ser conscientes de los peligros implícitos que pueden conllevar tales sistemas. Uno de los potenciales inconvenientes es su posible parcialidad, ya que los SAD se construyen en su mayoría con razonamientos racionales y lógicos que evitan las modalidades más débiles de la decisión y en consecuencia podrían conducir a una solución inhumana. En los casos en que el papel del ser humano en el proceso de decisión esté en gran medida disminuido, la incorporación de un código moral en el sistema podría mejorar la calidad de la decisión final. Una discusión amplia de las posibilidades y limitaciones de la conducta ética en los denominados *Agentes Morales Artificiales* se puede ver en Allen *et al.* (2000). Sin embargo, aunque los ordenadores podrían probablemente seguir un código moral con mayor precisión que el de los humanos, no podemos esperar que lleguen a entender las implicaciones éticas de las decisiones. En nuestra opinión, las implicaciones humanas serán siempre necesarias cuando el bienestar de los seres vivos y en particular el de los humanos esté en juego. Los avances en la tecnología computacional conducen a SAD próximos al cumplimiento de las necesidades de los usuarios más exigentes, aunque es necesaria una aplicación con esmero pues sino pueden conducir con frecuencia a soluciones prácticas inciertas y confusas.

3. ALGUNAS EXPERIENCIAS EN EL ANÁLISIS DE DECISIONES

Hoy en día muchos de los SAD y sistemas para la gestión del conocimiento en realidad son más enciclopedias que sistemas de apoyo a la decisión de los usuarios para alcanzar decisiones racionales. Algunos usuarios se sienten agobiados por la gran cantidad de información existente, llegando a alcanzar un nivel de desánimo o preocupación sobre qué decisión final tomar, pues sienten que nunca dispondrán de una información equilibrada para decidir con responsabilidad. Así, en algunas organizaciones, se han utilizado los SAD para posponer o retrasar la toma de decisiones o para plantear que un problema es polifacético sirviendo como una excusa para no alcanzar una decisión final.

Para evitar tal «paralización debida al análisis» muchos usuarios, especialmente en el área industrial y de producción, están de acuerdo con la afirmación de que con frecuencia es mejor tomar una decisión equivocada que no tomar una decisión. Así, algunos directivos deciden por ellos mismos en tales situaciones o con la ayuda de otros expertos imponiendo de esta manera la decisión propuesta a la organización. Otros utilizan el proceso de decisión no necesariamente para alcanzar una decisión clara, sino meramente como un método de investigación para alcanzar un consenso entre las personas implicadas. En todo caso, recordemos que no sólo debe tenerse en cuenta el conocimiento técnico, sino también las capacidades para aplicar adecuadamente los sentimientos y emociones en contextos sociales, lo que es un deber en los repertorios de los decisores eficientes, Goleman (1998).

Planteamos a continuación algunas ideas básicas de SAD desarrollados por nuestro grupo de análisis de decisiones.

3.1. Sistemas MOIRA y GMAA

Los autores de este trabajo han participado en tres proyectos europeos centrados en un problema de decisión complejo, resultado del accidente de Chernobil, que condujo a la introducción accidental de sustancias radiactivas en diversas áreas de la antigua Unión Soviética y que produjo niveles altos y persistentes de radiación en los ecosistemas acuáticos, lo cual puede ser perjudicial para el ser humano. Tales proyectos fueron MOIRA (A **MO**del-based Computerised System for Management Support to **I**dentify Optimal **R**emedial Strategies for Restoring RadioNuclide Contaminated **A**quatic Ecosystem and Drainage Areas), Monte *et al.* (2000); COMETES (Implementing **CO**mputerised **M**ethodologies to **E**valuate the Effectiveness of Countermeasures for Restoring RadioNuclide Contaminated Fresh Water **eco**Systems), Ríos Insua *et al.* (2000); y EVANET-HYDRA (**E**valuation and **NET**work of EC-Decision Support Systems in the Field of **HYDR**ological Dispersion Models and of **A**quatic Radioecological Research).

A partir de las investigaciones realizadas en dichos proyectos se desarrolló e implementó un SAD, el sistema MOIRA, posteriormente contrastado en varios escenarios reales de la Europa del Este. Su objetivo es ayudar a los decisores en la elección de la estrategia de intervención más adecuada para la restauración de ecosistemas acuáticos, basándose en modelos medioambientales de predicción de la migración de los radionucleidos en lagos, ríos y zonas costeras, y en los efectos de las contramedidas sobre los niveles de contaminación.

El sistema incluye varios módulos, entre los que podemos destacar un sistema GIS (Geographical Information System) para la identificación del escenario, diferentes modelos validados para predecir el comportamiento en el tiempo de los radionucleidos en el agua, así como sus impactos económicos, sociales y ecológicos, consecuencia de la aplicación de posibles estrategias de intervención, Monte y Brittain (1998), y un módulo denominado MAA (Multi-Attribute Analysis) para la evaluación de estas últimas a partir de la información proporcionada por los modelos del sistema (sus impactos), Jiménez *et al.* (2001).

El módulo de evaluación MAA del sistema MOIRA ha sido la base para el desarrollo e implementación de un SAD más avanzado y completo, el sistema GMAA* (Generic Multi-Attribute Analysis), ver Jiménez *et al.* (2003) y Mateos *et al.* (2003). Éste presenta ventajas importantes, tales como la incorporación de incertidumbre sobre los impactos de las alternativas y, en general, imprecisión en los parámetros que intervienen en el proceso de decisión.

El sistema GMAA se basa en la metodología del *Análisis de Decisiones* (AD), cuyos fundamentos fueron propuestos por von Neumann y Morgenstern (1947). Los axiomas de esta teoría asumen que la deseabilidad de las diferentes alternativas de decisión debería depender de las probabilidades de los posibles impactos de cada alternativa y de las preferencias de los decisores sobre dichos impactos. La información existente, los datos recogidos y los modelos se utilizan para cuantificar las probabilidades de las distintas consecuencias, mientras que para cuantificar las preferencias se utilizan las opiniones profesionales y la Teoría de la Utilidad.

El ciclo del AD consta de las siguientes etapas: estructuración del problema, cuantificación de preferencias y evaluación de las estrategias de intervención y análisis de sensibilidad.

La primera etapa del proceso del AD consiste en estructurar el problema de decisión, que incluye la especificación de objetivos y la generación de estrategias. Comenzamos construyendo una jerarquía de objetivos, con aquéllos pertenecientes a intereses generales en los niveles superiores y objetivos más precisos en los más bajos, e incluyendo todos los aspectos relevantes en el problema bajo consideración. La Figura 1 muestra la jerarquía construida para el análisis de estrategias de intervención en uno de los escenarios considerados, el lago Svyatoye (Bielorusia).

Una vez construida la jerarquía de objetivos, hay que definir los atributos o variables resultado asociados a los objetivos del nivel inferior de ésta, que servirán para indicar en qué grado los satisfacen las estrategias de intervención bajo consideración.

La estructuración del problema finaliza con la identificación de las posibles estrategias de intervención. En este caso, se propusieron diferentes estrategias teniendo en cuenta las opiniones y conocimiento de los expertos para una situación en la que el nivel de ^{137}CS es superior a 1000 Bq/kg.

* <http://www.dia.fi.upm/~ajimenez/GMAA>.

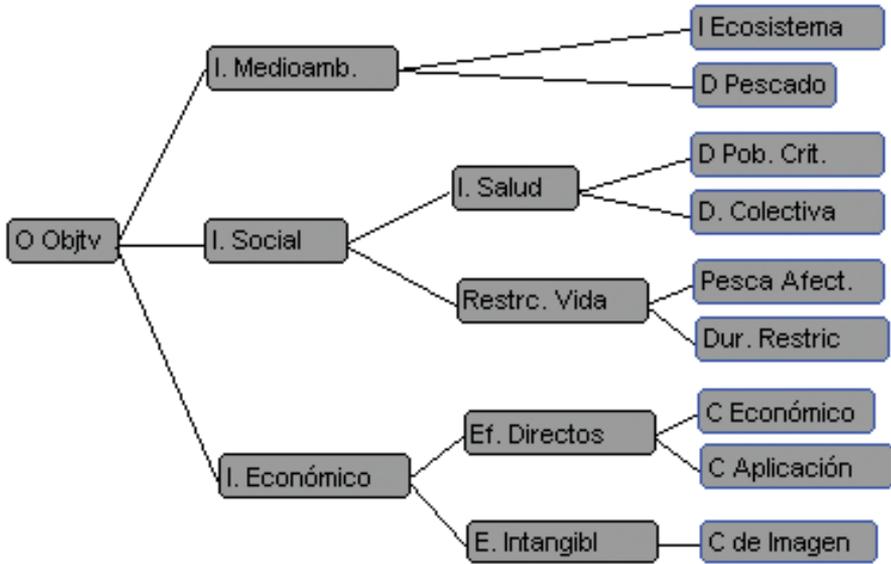


Figura 1. Jerarquía de objetivos para el lago Svyatoye.

Una vez identificadas las estrategias, deben establecerse sus impactos en términos de los valores que puedan alcanzar para los atributos asociados a los objetivos del nivel inferior de la jerarquía. Así, dado el conjunto de los nueve atributos denotados por X_1, \dots, X_9 y el conjunto S de estrategias de intervención disponibles, las consecuencias de cada estrategia $S^q \in S$ estarán descritas bajo incertidumbre por el vector

$$([x_1^{qI}, x_1^{qS}], \dots, [x_9^{qI}, x_9^{qS}])$$

donde x_i^{qI} y x_i^{qS} son, respectivamente, los extremos inferior (I) y superior (S) del intervalo de consecuencias/impactos de la estrategia S^q para el atributo X_i . Asumimos que la incertidumbre sobre cada intervalo $[x_i^{qI}, x_i^{qS}]$ se modeliza mediante una distribución uniforme continua, es decir, que todos los valores en el intervalo son posibles y equiprobables. En el caso de conocer con precisión el impacto de una estrategia S^q para un atributo X_i , se proporcionaría un intervalo con los mismos valores extremos, es decir, $x_i^{qI} = x_i^{qS}$.

El siguiente paso es la cuantificación de las preferencias de los decisores. Este paso implica la asignación de utilidades individuales a los atributos del problema, que representan las preferencias del decisor o decisores sobre los posibles impactos o consecuencias de las alternativas en ellos, y la determinación de los pesos o factores de escala de los objetivos en los distintos niveles de la jerarquía, que representan su importancia relativa.

Se comienza introduciendo terminología e ideas. El objetivo básico es desarrollar una buena comunicación entre el decisor y el analista. Esto puede ser una tarea difícil al principio, pero en todo caso los decisores deben comprender que no hay preferen-

La asignación de pesos se realiza de forma jerárquica, comenzando por los niveles más bajos de la jerarquía. En estos niveles, que conllevan un área de conocimiento muy específica, el procedimiento que se utilizará es la asignación basada en equilibrios. Se le pedirá al decisor que proporcione un intervalo de probabilidad para el que se sienta indiferente entre una lotería simple, que incluye impactos asociados a atributos que descienden del objetivo bajo consideración con ciertas probabilidades y un conjunto de impactos seguros para esos mismos atributos. El segundo procedimiento se basa en una asignación directa y es quizá más apropiado para objetivos de nivel superior de la jerarquía pues, en general, tendrán un carácter más político. En este caso, se le pide al decisor que proporcione directamente un intervalo de pesos que considere adecuado para cada subobjetivo bajo consideración.

El último paso del ciclo del AD consiste en la evaluación de las estrategias. Una vez que se han identificado las estrategias de intervención, así como sus impactos en términos de los atributos asociados a los objetivos del nivel inferior de la jerarquía y se han cuantificado las preferencias de los decisores a través de utilidades individuales en los atributos del problema y de pesos asociados a los objetivos de la jerarquía, debemos agregar toda esta información para evaluar las estrategias de intervención a través de una *función de utilidad multiatributo global*. Por razones descritas en Raiffa (1982) y Stewart (1996), consideramos válida la descomposición aditiva, que toma la siguiente forma

$$u(S^q) = \sum_{i=1}^9 k_i u_i(x_i^q)$$

donde x_i^q es la consecuencia de la alternativa S^q en el i -ésimo atributo, $u_i(x_i^q)$ es la utilidad asociada a la consecuencia anterior, y los k_i son los pesos o indicadores de la influencia de los atributos individuales sobre la decisión. Así, $u(S^q)$, utilidad de la estrategia S^q , indicará la deseabilidad de tal estrategia respecto al resto. Sin embargo, como el sistema admite la posibilidad de incertidumbre sobre los impactos de las estrategias e imprecisión en las preferencias del decisor, el modelo aditivo, que requiere valores precisos, se utiliza para asignar, por una parte, las utilidades globales promedio sobre las que se basará la ordenación de las alternativas y, por otra, utilidades mínimas y máximas, que proporcionarán una visión más profunda sobre la robustez de la ordenación.

Las utilidades globales promedio se obtienen a partir de los puntos medios de los intervalos de consecuencias de los respectivos atributos, las respectivas utilidades medias y los promedios de los indicadores de influencia de los atributos sobre la decisión. La Figura 3 muestra la ordenación de las estrategias de intervención para la restauración del lago Svyatoye, donde las líneas verticales de cada intervalo representan utilidades promedio.

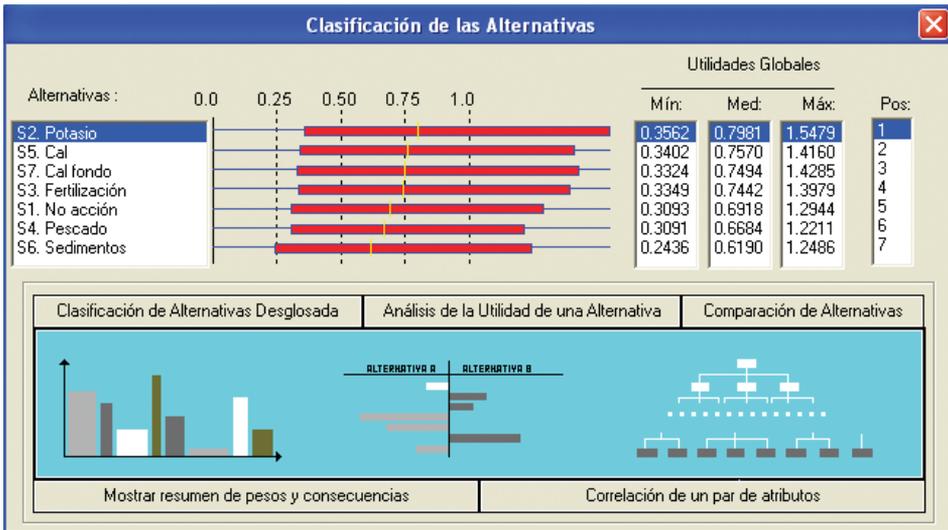


Figura 3. Ordenación de las estrategias de intervención con sus respectivas utilidades.

Si observamos la Figura 3, viendo que el solapamiento de los intervalos de utilidad (robustez en la ordenación de las estrategias) es grande, podríamos concluir que la información obtenida a partir de esta evaluación no es suficientemente significativa como para recomendar una determinada estrategia de intervención. En esta situación, el análisis de sensibilidad puede aportar información más útil y esclarecedora que las utilidades globales mínimas, promedio y máximas.

Así, finalmente, se plantea el *análisis de sensibilidad* (AS), que hoy en día debe considerarse como un complemento necesario de cualquier modelo cuantitativo. El AD se concibe como un ciclo iterativo de etapas de obtención de creencias, opiniones y preferencias, de cómputo y de AS. Cuando alcanzamos la fase del AS asumimos que el decisor no puede proporcionar más información sin un mayor entendimiento o acercamiento al problema o sin una mayor reflexión. El AS se debe ver como un medio de estimulación que lleve al decisor a reflexionar de una forma más profunda en el problema y así obtener un mayor conocimiento sobre la robustez de la recomendación final. Mateos *et al.* (2001) tratan el problema del AS en modelos de decisión multiatributo en ecosistemas acuáticos contaminados.

El sistema GMAA proporciona varias herramientas de AS. La forma más sencilla de llevar a cabo un AS es el denominado AS clásico, que consiste en cambiar los valores de los pesos (o de otros parámetros relevantes) y observar su impacto en la ordenación de alternativas. Por otra parte, el sistema también permite el cálculo de los intervalos de estabilidad de los pesos para cualquier objetivo de la jerarquía. Son los intervalos en los que puede variar el peso promedio normalizado del objetivo bajo consideración sin que afecte a la ordenación actual de estrategias de intervención. También se incluye la determinación de las estrategias no dominadas y potencialmente óptimas, así como la aplicación de técnicas de simulación Montecarlo, que aprovechan la información imprecisa que se proporciona sobre las consecuencias, utilidades y pesos. Como ayuda, el sistema calcula varios estadísticos (moda, media, mediana, cuartiles...) relativos a la ordenación de las estrategias y un diagrama de

cajas múltiple que proporciona una visión global de éstos (Figura 4). Ambas pueden ser especialmente útiles cuando la información obtenida con la evaluación no sea suficientemente esclarecedora (intervalos de utilidad muy solapados) para una recomendación definitiva.

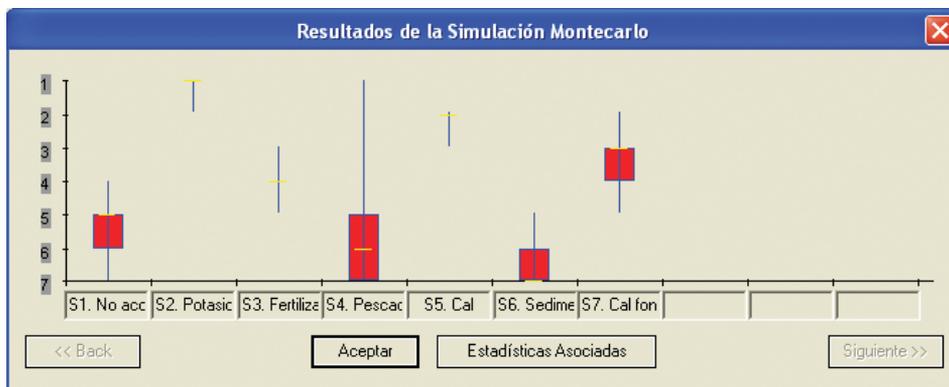


Figura 4. Diagrama de cajas múltiple obtenido de la simulación de los pesos.

El citado sistema está siendo ampliado en varios aspectos en un intento de recoger otros factores relevantes y de ayuda para un mejor funcionamiento y entre ellos destacaríamos el factor dinámico, Ríos Insua *et al.* (2004) y también la consideración de varios decisores simultáneamente, Mateos *et al.* (2005).

3.2. El sistema ICTNEO

Otro SAD desarrollado por nuestro grupo está relacionado con un problema bastante frecuente en los recién nacidos, como es la aparición de la ictericia neonatal. Las recomendaciones actuales de tratamiento intentan alcanzar un equilibrio entre infra y sobretreatmento, Newman y Maisels (1987), evitando pasar por alto ictericias que pudieran conllevar peligro, pero eliminando a su vez pruebas y tratamientos innecesarios sobre recién nacidos sanos. Sin embargo, existe falta de consenso en la comunidad médica internacional respecto a los niveles de bilirrubina indicados para la aplicación de los posibles tratamientos. Así en 1996, el Servicio de Neonatología del Hospital General Universitario Gregorio Marañón estaba interesado en estudiar este problema bajo la perspectiva del AD, lo que condujo al desarrollo e implementación del sistema IctNeo. El primer objetivo fue obtener una profunda comprensión del problema y posteriormente formalizar el conocimiento siguiendo las etapas del ciclo del AD como se indicó en el sistema anterior. Se obtuvieron los factores o variables de interés del problema y después se llevó a cabo un análisis progresivo para articular el conocimiento mediante la herramienta denominada *diagrama de influencia*, Howard y Matheson (1984) y Ríos Insua *et al.* (2002).

Estos diagramas emplean distintos tipos de nodos: con forma circular para variables aleatorias, rectangulares para variables de decisión y en forma de rombo un nodo denominado de valor que recoge las preferencias del decisor a través de utilidades, tal como se indicó en el sistema GMAA. Además, entre los nodos del diagrama de

Puede observarse que los médicos querían minimizar el daño debido al exceso de bilirrubina y el daño debido a los efectos secundarios del tratamiento. Observemos que aunque los niveles de bilirrubina y los efectos secundarios son datos objetivos, el daño que se producen es subjetivo y su valoración depende del criterio médico. Además, ambos objetivos están en conflicto. Otras consideraciones reflejadas en la jerarquía son el riesgo que supone el ingreso del paciente en el hospital, además de costes sociales y emocionales sobre la familia. Éstos y otros aspectos se engloban en lo que se denominan efectos intangibles, ya que sólo se pueden valorar de forma subjetiva. La única cuantificación objetiva es la del coste económico, considerado como efecto directo.

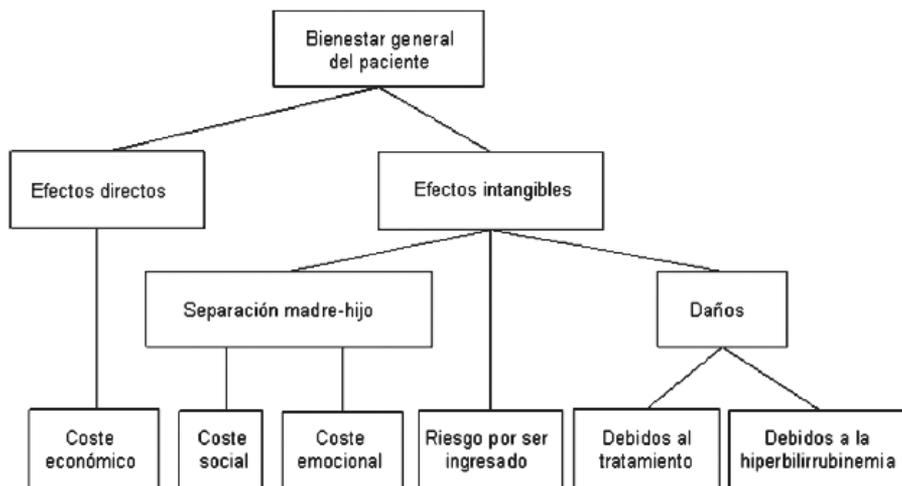


Figura 6. Jerarquía de objetivos de IctNeo.

A continuación, se llevó a cabo la determinación de las alternativas terapéuticas que están recogidas en la tabla que sigue, que corresponden a decisiones combinadas e incorporando en la medida de lo posible restricciones indicadas por los expertos. El tratamiento finaliza de dos formas: con el alta tras ser observado al menos 6 horas, o cuando el paciente es derivado a otro protocolo ajeno a IctNeo, debido a complicaciones graves o presentar otras patologías.

El paso siguiente fue hacer operativo el modelo conceptual construido, y para ello lo primero fue definir la escala de observación de todas las variables del diagrama. Así, por ejemplo, para definir la escala de la variable «gravedad de la patología», se seleccionan valores ordinales normalmente usados por los expertos: leve, moderada, grave, etc. La evolución en el tiempo aparece en el modelo reflejado en la secuencia de decisiones terapéuticas, en las distintas concentraciones (hemoglobina y bilirrubina), medidas según la evolución del paciente y en la «edad» del paciente. Cuando ya tenemos los rangos de definición de todos los aspectos del problema, debemos cuantificar la incertidumbre (relaciones probabilísticas) y la escala de preferencias del decisor (valores de utilidad).

<i>Primera decisión</i>	<i>Segunda y tercera decisiones</i>	<i>Cuarta decisión</i>	<i>Quinta decisión</i>
Nula	Nula	Nula	Nula
Ingreso + FOT.6	OBS + Alta	OBS + Alta	OBS + Alta
Ingreso + FOT.12	OBS	OBS + t. Ajena	OBS + t. Ajena
Ingreso + FOT.24	OBS + t. Ajena	FOT.6	
Ingreso + FOT.Ajena	FOT.6	FOT.12	
	FOT.12	FOT.24	
	FOT.24		
	FOT.6 + EXA + FOT.6		
	FOT.12 + EXA + FOT.12		

La tarea de obtención de las probabilidades de los nodos de azar es muy compleja en diagramas de influencia de gran tamaño, debido al gran número de parámetros que es preciso especificar. En nuestro caso se han utilizado básicamente juicios subjetivos de los expertos consultados, debido a la ausencia de suficientes datos procedentes de historias clínicas con los que trabajar. Para facilitar la cuantificación de la incertidumbre se utilizaron diferentes procedimientos, tratando de aprovechar todo el conocimiento disponible sobre el problema.

En cuanto a cómo medir las preferencias, se comprueba primero si se cumplen ciertas hipótesis y a partir de ello se utiliza una función de utilidad que cuantifica las preferencias sobre las consecuencias de las posibles acciones a seguir. Tal función agrega la influencia de cada uno de los atributos considerados, proporcionando una medida de satisfacción general. Las utilidades están relacionadas con la actitud del médico o el sistema sanitario frente al riesgo inherente al tratamiento.

Una vez preparado el diagrama de influencia para su evaluación y poder obtener la solución, que son las decisiones de máxima utilidad esperada, se llevó a cabo la implementación y explotación del sistema IctNeo, a partir del cual se pueden obtener los diagnósticos de las diferentes enfermedades. La evaluación de perfiles fue la estrategia adoptada debido a que la evaluación del diagrama era prohibitiva por su gran carga computacional. Durante el proceso estándar de evaluación se llegaba a necesitar almacenar 10^{18} valores en coma flotante, lo que excede con mucho la capacidad de cualquier ordenador. A petición de los médicos, se estudiaron sólo los perfiles de casos que más frecuentemente ocurren y también se requirió incorporar ciertas mejoras al algoritmo estándar de evaluación, Bielza *et al.* (2000).

Respecto a la explotación, indiquemos que además de las soluciones propuestas, pueden solicitarse al sistema explicaciones de los resultados y estudiar la sensibilidad respecto de parámetros de interés, como las probabilidades y utilidades. La estrategia a seguir es centrarse en los parámetros más sensibles y reconsiderar sus valores asignados consiguiendo mejorar y robustecer el modelo. De hecho, el modelo será el punto de partida para futuras extensiones, simplificaciones y sobre todo, reflexiones acerca del problema que comprenderemos mejor. La relación de médico y sistema se muestra en la Figura 7, donde se observa una pantalla de las que maneja el médico y se resumen las principales prestaciones del sistema.

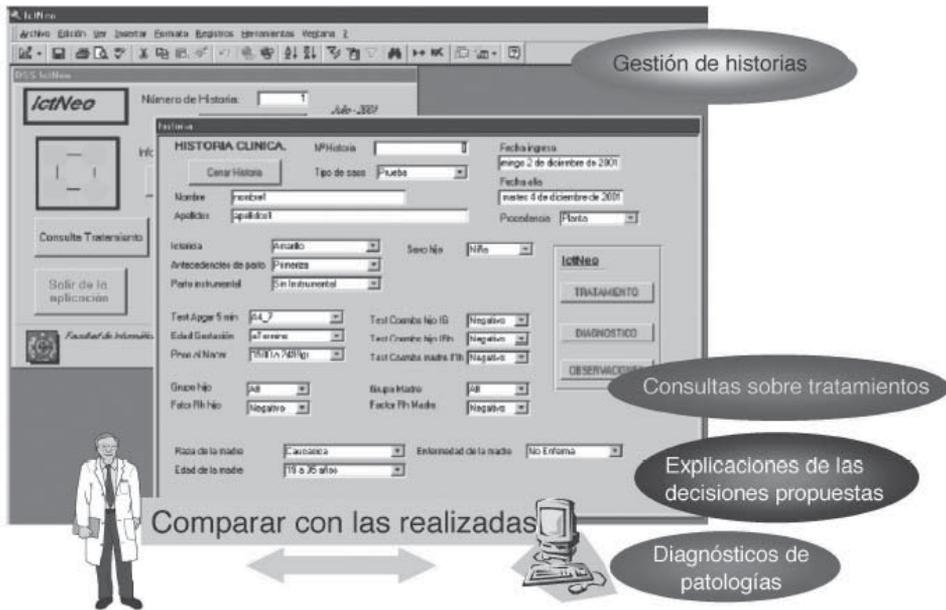


Figura 7. *Relación médico/sistema.*

Observemos finalmente que todo el proceso de modelización es iterativo y cíclico, con fases de revisión, hasta que el análisis sea satisfactorio y se alcance la implantación de la solución, alcanzando un modelo requisito.

4. EL FUTURO DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN

Los enfoques clásicos basados en la lógica y razonamiento probabilístico tienen aún un importante camino por delante para ayudar a lograr soluciones aceptables en los problemas de decisión. Dunn (2002) propone que el uso imaginativo de las ideas y conceptos clásicos podrían conducir a resultados con conclusiones y decisiones no esperadas o imprevistas si el proceso de validación se lleva a cabo en diferentes niveles y si nos hemos librado de los mitos y condicionamientos que existen en la mayoría de las ramas de la ciencia. Dunn probó que no hay evidencia que apoye la amplia creencia de que la reducción del límite de velocidad en EE.UU. redujera el número de accidentes. Mediante un análisis persuasivo demostró que el número de víctimas está muy relacionada con la fuerza de la economía, ya que en una economía con alto crecimiento se incrementa el tráfico y con ello los accidentes mortales. Sus resultados no fueron aceptados, ya que no se ajustan a las fuertes convicciones actuales sobre la relación entre el límite de velocidad y el número de accidentes de tráfico. Además, los políticos tenían considerables problemas con el mensaje de que una economía fuerte podría costar vidas.

Este ejemplo muestra que los SAD deberían tener una característica que permita cuestionar las suposiciones planteadas, ya que tales suposiciones limitan con frecuen-

cia las soluciones creativas ya generadas por los actuales SAD, pero que con frecuencia son ignoradas o no aceptadas. Después de todo, el presente es el resultado del pasado pero no como el pasado y además el futuro será posiblemente distinto del presente y el pasado. El libro de Peet (1995), entre otros trabajos, muestra una discusión estimulante del papel de los mitos y los condicionamientos, y además hace una descripción de diferentes enfoques prácticos para la superación de condicionamientos sin un fundamento consistente.

Cuando se toman decisiones, con frecuencia es útil no sólo averiguar los resultados para un conjunto dado de entradas sino también aquel conjunto de entradas que proporcionará resultados atractivos. Es decir, que los SAD deben tener la capacidad de realimentación. Esa función de realimentación y la incorporación de inteligencia será probablemente incluida en las futuras generaciones de los SAD en un intento de alcanzar la fracasada filosofía del razonamiento subyacente de los sistemas expertos y tendrán más en cuenta la situación del ser humano como cocreador de su propia sociedad.

El campo de desarrollo de la *cibernética social* (o de tercer orden) propone el conocimiento de cómo apoyar los propósitos del ser humano y pone énfasis sobre cómo la gente crea, mantiene y cambia los sistemas sociales a través del lenguaje y las ideas. La suposición clave es que las ideas y decisiones son aceptadas si sirven a los objetivos del individuo como un participante social. Una consecuencia importante que indica Umpleby (2000) es que transformando sistemas conceptuales podemos cambiar la sociedad. Un revelador ejemplo de este enfoque ha sido publicado por Vester (2001), que introduce un instrumento de diálogo apoyado en la simulación que mediante una representación global y simulación interactiva de un modelo comunitario puede conducir a un consenso social entre los grupos implicados.

Finalmente, es de esperar que de la misma manera diferentes tecnologías originen sobre los SAD tengan tendencia a converger y evolucionar incorporando conceptos avanzados y otras tecnologías como los sistemas sumergidos o embebidos que eventualmente se fusionen con los SAD creándose los *SAD sumergidos* con todas sus posibles variaciones y combinaciones. Este campo se encuentra todavía en una etapa de desarrollo aún muy imprecisa y se puede comentar que varias de las tecnologías origen están convergiendo, aunque resulta aún muy difícil predecir cuáles serán los desarrollos cruciales en este campo. Sin embargo, por lo que se refiere al hardware y software más apropiado, es de esperar que mediante un creciente nivel de interconexión del software de los SAD y sistemas sumergidos se conducirá a una mayor necesidad de la estabilidad, fiabilidad y portabilidad.

Apuntemos también, como afirman Smit y Lasker (2002), que la interacción entre el razonamiento y las emociones y el comportamiento ético, así como la inteligencia moral y las limitaciones en la conducta ética y los agentes autónomos artificiales, se están haciendo cada vez más relevantes en la toma de decisiones y no sólo desde un punto de vista técnico sino también ético, lo cual es un deber en nuestra compleja sociedad. Otros temas relevantes con futuro serán el papel de los valores y diversidad de las opiniones de grupos en decisión, aprendizaje y desarrollo de comunidades éticas, gestión de complejidades y sus transiciones, así como la importancia de la comunicación en el comportamiento ético. Si uno o más de los anteriores puntos se tuvieran en cuenta, los SAD se desarrollarán en direcciones en las que los modelos

de decisión no sólo guiarán los procesos de decisión sino que también examinarán las valoraciones hechas por los decisores e influirán en la interpretación e implementación de las decisiones y tendrán influencia sobre la formulación y el fomento del desarrollo de los propios modelos de decisión.

Para finalizar apuntemos que, como cualquier herramienta, los SAD pueden conducir tanto a decisiones constructivas como destructivas. La tecnología moderna ofrece la capacidad de diseñar sistemas que realmente nos sean de gran utilidad, aunque estos sistemas ayudarán u obstaculizarán la toma de decisiones en buena parte dependiendo del enfoque que decidamos seguir mientras trabajemos con ellos. Así, podemos concluir indicando que los conceptos y tecnologías sobre los SAD se encuentran aún en evolución y el potencial de este campo esta aún lejos de estar agotado.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo se ha llevado a cabo con la financiación de los proyectos del Ministerio de Educación y Ciencia TSI2004-06801-C04-04 y MTM2004-21099-E.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, C.; Varner, G., y Zinser, J. (2000), «Prolegomena to any Future Artificial Moral Agent», *Journal Expt. Theory and Artificial Intelligence* 12, pp. 251-261.
- Bielza, C.; Gómez, M.; Ríos Insua, S., y Fernández del Pozo, J. A. (2000), «Structural, Elicitation and Computational Issues faced when Solving Large Influence Diagrams», *Computers & Operations Research* 27, pp. 725-740.
- Dunn, W. (2002), «A Pragmatic Strategy for Discovering and Testing Threats to the Validity of Sociotechnical Experiments», *EUROSIM Journal: Simulation Practice and Theory* 10 (3-4), pp. 169-194.
- Goleman, D. (1998), «What Makes a Leader?», *Harvard Business Review*. Nov.-Dec. 1998, pp. 93-102.
- Howard, R. A., y Matheson, J. E. (1984), «Influence Diagrams», en *The Principles and Applications of Decision Analysis*, R. A. Howard y J. E. Matheson (eds.), Vol. II, pp. 719-762, Strategic Decision Group, Menlo Park.
- Jiménez, A.; Ríos Insua, S.; Mateos, A., y Gallego, E. (2001), «Multiattribute Evaluation Module of the MOIRA System, Reference Guide & User's Manual», *Report CTN17-99*, Cátedra de Tecnología Nuclear, ETSII, Universidad Politécnica de Madrid.
- Jiménez, A.; Ríos Insua, S., y Mateos, A. (2003), «A Decision Support System for Multiattribute Utility Evaluation based on Imprecise Assignments», *Decision Support Systems* 36 (1), pp. 65-79.
- Keeney, R. L., y Raiffa, H. (1976), *Decisions with Multiple Objectives*, Wiley, New York.
- Mateos, A.; Ríos Insua, S., y Gallego, E. (2001), «Postoptimal Analysis in a Multi-Attribute Decision Model for Restoring Contaminated Aquatic Ecosystems», *Journal of the Operational Research Society* 52, pp. 1-12.
- Mateos, A.; Jiménez, A., y Ríos Insua, S. (2003), «A Multiattribute Solving Dominance and Potential Optimality in Imprecise Multi-Attribute Additive Problems»,

- Reliability Engineering and System Safety* 79, pp. 253-262.
- Mateos, A.; Ríos Insua, S., y Jiménez, A. (2005), «Monte Carlo Simulation Techniques for Group Decision-Making with Incomplete Information», *European Journal of Operational Research* (aceptado).
 - Monte, L., y Brittain, J. (eds.) (1998), «Principles for the Development and Implementation of the MOIRA Computerised System», *Report RT/AMB/98/4 ENEA*, Rome.
 - Monte, L.; van der Steen, J.; Bergstroem, U.; Gallego, E.; Brittain, J., y Håkanson, L. (eds.) (2000), «The Project MOIRA: A Model-Based Computerised System for Management Support to Identify Optimal Remedial Strategies for Restoring Radio-nuclide Contaminated Aquatic Ecosystems and Drainage Areas», *Final Report RT/AMB/2000/13 ENEA*, Rome.
 - Newman, T. B., y Maisels, M. J. (1987), «Evaluation and Treatment of Jaundice in Term Infant: A Kinder, Gentler Approach», *Pediatrics* 89, pp. 809-830.
 - Peet, J. (1995), «Myths of the Political-Economic WorldView», en *Energy and the Ecological Economics of Sustainability*, Islan Press (www.islandpress.com).
 - Raiffa, H. (1982), *The Art and Science of Negotiation*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
 - Ríos Insua, D.; Gallego, E.; Mateos, A., y Ríos-Insua, S. (2000), «MOIRA: A Decision Support System for Decision Making on Aquatic Ecosystem Contaminated by Radioactive Fallout», *Annals of Operations Research* 95, pp. 341-364.
 - Ríos Insua, S.; Bielza, C., y Mateos, A. (2002), *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*, RA-MA, Madrid.
 - Ríos Insua, S.; Jiménez, A., y Mateos, A. (2004), «A Time-Dependent Decision Support System for Multi-Attribute Decision-Making», *Integrated Computer-Aided Engineering* 11 (1), pp. 63-75.
 - Smit, I., y Lasker, G. (2002), «Cognitive, Emotive and Ethical Aspects of Decisión Making and Human Action», *Proceedings of the 14th International Conference on Systems Research, Informatics and Cybernetics*, July 29-August 3, 2002, Baden-Baden, Germany.
 - Stewart, Th. J. (1996), «Robustness of Additive Value Function Method in MCDM», *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 5, pp. 301-309.
 - Umpleby, S. A. (2000), «What Comes after Second Order Cybernetics», *Cybernetics & Human Knowing* 8 (3), pp. 87-89.
 - Vester, F. (2001), «Simulating Complex Systems as Sustainable Organization by Transparent Sensitivity Models», *Proceedings of the EUROSIM 2001 Conference*, June 26-29, Delft, The Netherlands.
 - Von Neumann, J., y Morgenstern, O. (1947), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.
 - Von Nitzsch, R., y Weber, M. (1998), «Utility Function Assessment on a Micro-computer: An Interactive Procedure», *Annals of Operations Research* 16, pp. 149-160.