

## LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA GESTIÓN DE LA TESORERÍA

JAVIER BERBIELA

Jefe de Desarrollos de Tesorería. Unión Fenosa. C/ Alberto Alcocer, 5. 28036 Madrid.

### PRESENTACIÓN

*El mundo empresarial muestra un creciente interés por la innovación tecnológica como instrumento de progreso y desarrollo. Prueba de ello es la difusión acelerada de avances científicos y nuevas tecnologías en las empresas y las frecuentes colaboraciones entre éstas y la universidad.*

*Este artículo, que presenta el Centro de Estudios de Unión Fenosa, desarrolla la utilización de técnicas de la teoría de decisiones en el seno del área económica de la empresa y se enmarca en un acuerdo de colaboración tecnológica suscrito entre Unión Fenosa y la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburgh.*

ELEUTERIO GÓMEZ

Decano del Centro de Estudios de Unión Fenosa

### ANTECEDENTES

En 1989 Unión Eléctrica Fenosa (UEF) y la Universidad Carnegie Mellon (CMU) de Pittsburgh firmaron un acuerdo general de colaboración tecnológica. Los primeros trabajos derivados de este acuerdo han consistido en la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial en la gestión de la Tesorería. Como fruto de estos trabajos se han desarrollado dos sistemas expertos, llamados CRESUS y CIRO, enfocados a la Gestión de Fondos, el primero, y a la Gestión Financiera en el corto plazo, el segundo.

El primer sistema experto en ser abordado fue CRESUS. Para su desarrollo se montó un equipo mixto formado por personas de UEF (y de su filial, Norsistemas, dedicada a la consultoría en tecnologías de la información) y de CMU. Los trabajos comenzaron en 1989 y ya en 1991 se tenía una primera versión que fue instalada en el Departamento de Gestión de Fondos de Unión Fenosa. Desde entonces, se han ido realizando modificaciones y depuraciones al sistema para la mejora de la calidad de sus soluciones.

Derivado del éxito del primer sistema, se decidió abordar un segundo sistema experto, CIRO, especializado en las decisiones de financiación/inversión en el Corto Plazo (operaciones con un máximo de duración de 90 días). Este segundo sistema experto empezó a desarrollarse en 1995, terminándose en 1998. Actualmente ha pasado toda la fase de pruebas y está siendo instalado en el departamento financiero de Unión Fenosa.

### EL PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE FONDOS

El Departamento de Gestión de Fondos es el responsable de las cuentas bancarias de una empresa. Sus funciones consisten en la gestión de las órdenes a bancos, optimizando los saldos de las cuentas, así como los costes derivados de dicha gestión.

Cada día, y en función de los saldos de cada una de las cuentas bancarias y de los cobros y pagos que se deba realizar, el tesorero deberá tomar las decisiones adecuadas para minimizar el coste financiero de sus cuentas (caso de estar en una posición deudora) o maximizar sus excedentes de tesorería (caso de estar en una posición acreedora).

En concreto, las decisiones que deberá tomar son de tres tipos:

- Canalización de cobros y pagos: Existen cobros y pagos que deben efectuarse en cuentas concretas (transacciones ya canalizadas), mientras que en otros el tesorero puede elegir en qué cuenta efectuar el cobro o pago (pendientes de canalización o canalizables).
- Decidir sobre las cantidades a utilizar en cada una de las Pólizas de Crédito existentes o sobre las cantidades a invertir y su plazo.
- Realizar los movimientos de fondos entre las cuentas para que los saldos en cada una de ellas sean los deseados, eligiendo para cada uno de ellos el mejor ins-

trumento financiero (cheque, transferencia, etc.) con mejores condiciones en términos de comisiones, días de valoración, etc.

El objetivo, por tanto, será el de minimizar el coste (o maximizar el beneficio) de las operaciones anteriores. Esto es, las pólizas de crédito usadas deberán ser lo más baratas posibles, el saldo de cada una de las cuentas deberá ser cero o próximo a cero (evitando así saldos ociosos) y las comisiones y pérdidas por días de valoración por los cobros, pagos y movimientos de fondos deberán ser los mínimos posibles.

El trabajo del Departamento de Gestión de Fondos es especialmente complicado debido a varios factores:

- El elevado número de cuentas a gestionar y cobros y pagos a efectuar.
- La incertidumbre en los datos del problema: el Departamento de Tesorería no conoce todos los cobros y pagos del día (siempre existen pagos imprevistos y, sobre todo, cobros inciertos).
- La interacción entre las decisiones: una decisión afecta a las otras decisiones.
- La necesidad de dar respuesta rápida ante imprevistos. Las órdenes a los bancos deben darse a media mañana para que tengan efecto en el mismo día y a lo largo de esa misma mañana está llegando al departamento nueva información que modifica la situación.

Teniendo en cuenta la naturaleza del problema se pensó que las técnicas de búsqueda heurística utilizadas en Inteligencia Artificial (similares a la utilizada en Deep Blue, el famoso programa de ajedrez de IBM) podían dar respuesta satisfactoria. Se ideó, así, un sistema que debía cumplir con los siguientes objetivos:

- Optimización del flujo del dinero mediante la generación de una solución óptima. Para conseguir esto, el sistema debería simular un conjunto de posibles soluciones para un período de días dados (normalmente de tres a cinco días), evaluando el coste de cada una de ellas y eligiendo la mejor.
- Evaluación del coste al final del período contemplado, ya que las decisiones de un día afectan a los siguientes y nos interesa optimizar el período completo (evitando caer en mínimos locales).

## COMPONENTES DEL SISTEMA EXPERTO CRESUS

CRESUS contiene tanto conocimiento experto como restricciones en términos de cuánta cantidad pedir prestada o a amortizar, sistemas de evaluación de costes y generación de operadores, como un algoritmo de búsqueda híbrida multi-nivel.

Los componentes del sistema son los siguientes:

### 1. Gestor de datos

Este módulo es el encargado de la creación y mantenimiento de las estructuras de datos del sistema. Para ello se utilizó un lenguaje «basado en marcos» (frames) con capacidades de definición de clases, relaciones y herencias.

También se encarga de asegurar la consistencia de los datos y su validación ante modificaciones.

### 2. Simulador

Es el módulo responsable de simular los efectos de cada una de las operaciones financieras ejecutadas por el sistema. Cuando el tesorero, interactuando con el sistema, realiza una operación, el sistema calcula todos los efectos que conlleva dicha operación y las enseña en las diferentes ventanas de la aplicación.

El simulador también realiza los cálculos de los costes asociados a cada operación.

### 3. Interfaz de usuario

Como su nombre indica, es el módulo responsable de la interacción con el usuario (el tesorero).

Mediante un sistema de ventanas, el usuario puede modificar cualquier dato de su tesorería, realizar operaciones y ver sus efectos, etc.

### 4. El buscador

Representa la parte más sofisticada del sistema. En vez de que el tesorero vaya realizando una solución manual consistente en ir simulando, una a una, las decisiones que considere más idóneas y viendo sus resultados, el tesorero puede ordenar al sistema que realice una búsqueda automática de forma que le sugiera un conjunto de operaciones que solucionen el problema.

Este módulo es, por tanto, el responsable de la búsqueda de soluciones automáticas.

Como hemos comentado previamente, los tipos de decisiones que puede tomar son:

- Disponer o amortizar crédito.
- Canalizar cobros y pagos si no están canalizados.
- Mover fondos entre cuentas.
- Invertir excedentes.

El espacio de búsqueda es extremadamente largo. Una solución, para una gran empresa, suele estar formada por un conjunto de 50 operaciones, y en cada paso de la búsqueda se puede elegir entre unos 100 operadores diferentes. Por esta razón era necesario realizar una búsqueda heurística que considerara sólo una pequeña fracción de este espacio. Además, dividiendo el espacio en subespacios con relativa poca interacción, el problema se volvía más abordable (Minsky, 1963).

En CRESUS, los subespacios considerados son los siguientes:

- El espacio de búsqueda diario. Cuando CRESUS está buscando la solución para un día del período no tiene en cuenta, en ese momento, las implicaciones de sus decisiones en los sucesivos días. Este aspecto será contemplado cuando se realicen *búsquedas entre días*, como veremos más adelante.
- El espacio de operadores para un tipo de operador específico. Dentro de una búsqueda diaria, el sistema sólo considera operadores de un solo tipo a la vez. Dado que existen interacciones entre ciertos tipos, éstos son manejados mediante conocimiento experto introducido en la propia herramienta.

El buscador usa una búsqueda heurística multinivel basada en el algoritmo *I-beam* desarrollado originalmente para el sistema de reconocimiento de voz *Harpy* (Lowerre, 1976; Newell, 1978).

El buscador está compuesto por los siguientes submódulos:

- **El buscador.** Es el módulo de más alto nivel y está encargado de la búsqueda. Interacciona con los otros submódulos.
- **El generador.** Es el encargado de generar nuevos operadores que mejoren un estado dado.
- **El evaluador.** Encargado de evaluar los costes locales y globales de un conjunto de operadores. El coste global viene definido como la suma de los costes de los operadores aplicados más una estimación de los costes necesarios para completar la búsqueda.
- **El gestor de datos del buscador.** Responsable del almacenamiento de la información en los estados intermedios y finales de la búsqueda.

La búsqueda se realiza en dos fases:

1. **Inicialización.** En esta fase se establecen los objetivos de búsqueda para cada uno de los días que se quiere optimizar. Al final de la búsqueda, la solución encontrada deberá:

- Tener todos los cuentas con saldos correctos.

- El coste global de la solución deberá ser mínimo.
- Se intentará minimizar el número de operadores que conforman la solución.

2. **Búsqueda.** Una vez terminada la inicialización, empieza la búsqueda propiamente dicha. Esta búsqueda se realiza en dos diferentes niveles: *dentro del mismo día* y *entre días*. Ambos niveles están basados en el ya mencionado algoritmo *I-beam*. Se trata de un algoritmo de *búsqueda en anchura (breadth-first)* que considera simultáneamente un conjunto de soluciones y que van evolucionando paralelamente. Las soluciones generadas en un estado dado son evaluadas y se seleccionan aquéllas de mayor calidad (menor coste potencial), siendo el resto descartadas. Sólo las soluciones seleccionadas seguirán evolucionando al siguiente estado. Lógicamente, existe el riesgo de descartar una solución que al final resultara ser la mejor, pero es un riesgo que hay que asumir debido al enorme espacio de búsqueda que se considera.

### 2.1. Dentro del mismo día

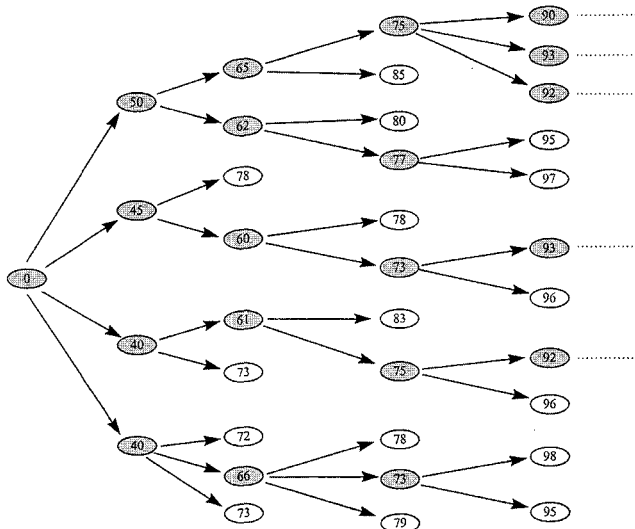
Cuando se está realizando la búsqueda dentro de un día, el sistema guarda las  $K$  mejores soluciones parciales encontradas hasta el momento ( $K$  suele recibir el nombre de *anchura de búsqueda* o *beam-width*).

Supongamos que  $S$  representa el conjunto de las mejores soluciones. El algoritmo sería:

1. Inicializar  $\Sigma$  a  $\{\}$ .
2. Inicializar  $\Sigma_{\text{nuevo}}$  a  $\{\}$ .
3. Para cada solución incompleta en  $\Sigma$ , llamar a *nuevo-intento*:
  - a) Coger *nuevo-intento* de  $\Sigma$ .
  - b) Para cada operador  $O$  aplicable a *nuevo-intento* que mejora la solución, añadir (*nuevo-intento* +  $O$ ) a  $\Sigma_{\text{nuevo}}$ .
4. Si hay más de  $K$  soluciones en  $\Sigma_{\text{nuevo}}$  entonces asignar a  $\Sigma_{\text{nuevo}}$  las  $K$  mejores soluciones hasta el momento.
5. Asignar  $\Sigma_{\text{nuevo}}$  a  $\Sigma$ .
6. Repetir desde paso 2 hasta que no haya más soluciones incompletas en  $\Sigma$ .

Si representamos en la figura 1 un ejemplo con un árbol de búsqueda de anchura 5 y consideramos mejores estados aquéllos que tienen menor coste potencial, podemos ver que los mejores estados en el primer nivel son los de coste 50, 45, 40 y 40 y en el segundo nivel serían los de valor 65, 62, 60, 61 y 66. Se puede apreciar que los estados con valor 78, 73, 72 y 73 están descartados.

Este proceso de propagación de estados continúa hasta encontrar una solución completa. Puede apreciarse que a partir del tercer nivel el número de estados a desarrollar no crece al estar limitado por  $K$ .



**Figura 1.** Búsqueda dentro del mismo día con  $K = 5$ . Los nodos sombreados son los seleccionados.

## 2.2. Entre días

En esta fase se combinan las diferentes búsquedas de cada día utilizando el mismo tipo de algoritmo. Esto es, se busca la mejor solución comparando los costes asociados a la solución de cada día.

Según se avanza en los días, los valores de  $K$  van disminuyendo. Esto es debido a que según avanzamos en el tiempo, la incertidumbre de los datos que maneja el sistema son mayores. Con este mecanismo conseguimos encontrar la mejor solución para el día  $d$  (el primer día del período, que es el único en el que se van a dar órdenes a los bancos) pero teniendo en cuenta lo que se prevé va a ocurrir en días sucesivos.

## EL PROBLEMA DE LA FINANCIACIÓN A CORTO PLAZO

Como dijimos anteriormente, tras el desarrollo y puesta en explotación del sistema experto CRESUS, se abordó un segundo sistema, llamado CIRO, que pretendía ayudar en la toma de decisiones de financiación/inversión a corto plazo (entendiendo por corto plazo los próximos 90 días).

El problema de este segundo sistema es parecido, y anterior, al de CRESUS. Con la información prevista de cobros y pagos a realizar en los próximos tres meses, el tesorero elabora un perfil de necesidades/excedentes. En caso de que la situación sea deficitaria, el tesorero deberá realizar

una serie de operaciones financieras que cubran esas necesidades tratando de minimizar su coste. Para ello contará de diferentes tipos de fuentes de financiación (pólizas de crédito, descuento de efectos, emisión de pagarés, etc.) cada una de ellas con diferentes condiciones: costes, plazos, disponibilidades, etc. En el caso de tener una posición excedentaria, el tesorero tratará de hacer inversiones en diferentes fuentes de inversión con objeto de sacar el mayor rendimiento posible a su dinero. Por supuesto, a lo largo del perfil de necesidades de los tres meses pueden darse situaciones mixtas con días deficitarios y días excedentarios, con lo que se producirían tanto operaciones de financiación como de inversión.

Un elemento nuevo a tener en cuenta en este problema es el de las variaciones que se produzcan en los tipos de interés. Ya que, a diferencia de CRESUS, se van a realizar operaciones de más de un día (hasta de 90 días), las variaciones del mercado financiero cobran especial relevancia.

En definitiva, los elementos a considerar son:

- Los cobros y pagos previstos que conforman la curva de necesidades para los próximos 90 días.
- Las líneas de financiación e inversión contratadas con los bancos, o existentes en el mercado financiero, y su disponibilidad y condiciones de uso.
- La estimación de los tipos de interés para el período contemplado.

Y las decisiones que deberá tomar son:

- Operaciones de financiación eligiendo la línea financiera sobre la que realizarla y el plazo de la operación.
- Operaciones de inversión eligiendo la forma de inversión y también su plazo.

Como puede verse, el problema es similar al enunciado con CRESUS. Se trata de encontrar una solución, formada por una serie de operaciones financieras, con un coste mínimo y para un plazo dado. En este caso el problema es sustancialmente más difícil al encontrarnos con mayores niveles de incertidumbre (tanto en los cobros y pagos futuros como en la evolución de los tipos de interés) debido a considerar un número de días mucho más elevado.

Para CIRO se utilizó la misma tecnología usada en CRESUS. En el nuevo sistema experto se pueden definir las diferentes formas de financiación e inversión, se puede introducir el perfil de necesidades (cobros y pagos) así como la estimación de la evolución de los tipos de interés. Con esos elementos, el sistema experto realiza una búsqueda como la explicada anteriormente devolviendo la mejor solución encontrada en términos de operaciones financieras.

Al igual que en CRESUS, las búsquedas que se pueden realizar pueden ser tanto *globales* como *condicionadas*. Una

*búsqueda global* es aquella que descarta cualquier operación previa hecha en el sistema y, partiendo de cero, busca y sugiere la mejor solución encontrada. Una *búsqueda condicionada* es aquella que respeta las operaciones efectuadas manualmente por el tesorero y busca el conjunto de operaciones que, junto con las primeras, conforman la mejor solución.

En el desarrollo de este segundo sistema nos encontramos, fundamentalmente, con dos problemas:

1. Los tiempos de respuesta eran muy altos.

Dado que el número de días a solucionar era mucho mayor (pasábamos de tres-cinco días en CRESUS a 90 días en CIRO), el número de posibles soluciones crecía exponencialmente, lo que llevaba a tiempos de respuesta de varias horas.

Para solucionar este problema fue necesario recortar drásticamente el espacio de búsqueda, pero al hacerlo así se descartaban muchas soluciones que, una vez desarrolladas, podían resultar ser mejores. Esto pudo ser resuelto con la incorporación de más conocimiento experto que nos permitía valorar con mayor acierto las posibilidades de cada estado.

2. Al aplicar el algoritmo de búsqueda explicado en CRESUS, las soluciones seleccionadas no diferían mucho entre sí.

Para solucionar este segundo problema se diseñó una variación del algoritmo de búsqueda, al que llamamos *búsqueda con diversidad*, que consistía en valorar tanto las posibilidades de éxito como la diferencia con las otras soluciones, de forma que nos aseguráramos que los estados seleccionados eran potencialmente buenos y distintos entre sí.

Una vez resueltos ambos problemas los tiempos de búsqueda se vieron reducidos considerablemente, con respuestas en el entorno de los diez minutos en la mayoría de los casos y una calidad en las soluciones considerablemente mayor.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Como hemos mencionado anteriormente, el sistema experto CRESUS se comenzó a utilizar en Unión Fenosa en 1991, mientras que el sistema experto CIRO está en estos momentos en fase de instalación, por lo que no puede aún darse resultados concretos.

Resulta difícil evaluar los beneficios, en términos económicos, obtenidos con el uso de CRESUS, ya que habría que comparar los costes incurridos usando el sistema con los que se hubieran hecho, caso de no tenerlo. De cualquier forma, se han realizado pruebas con datos históricos de Unión Fenosa, con los provenientes en estos años de uso del sistema y con datos proporcionados por otras empresas que se han prestado a ello, y los resultados obtenidos son los siguientes:

- Ahorro en tiempo (obtenidos en UEF): el equivalente a 1,5 personas/día.
- Ahorro económico: alrededor de un 15-20% sobre los costes.

Del estudio de estos datos cabe concluir que resulta altamente rentable utilizar sistemas de ayuda a la toma de decisiones en las áreas económicas de las empresas, no sólo por los ahorros que ello supone sino también por la capacidad de reacción, análisis y planificación que este tipo de sistemas proporcionan.

**SERIE «GALERÍA PRESIDENTES»  
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS**



**D. Julio Palacios Martínez**

**XI Presidente**

**1966-1970**

*Nació en Paniza (Zaragoza) el 12 de abril de 1891.  
Fue elegido Académico el 4 de marzo de 1931, leyendo su discurso  
de ingreso el 8 de abril de 1932, que versó sobre  
«Mecánica Cuantista».*

*Vicepresidente de esta Academia de 1958 a 1966, en que fue  
nombrado Presidente, hasta su fallecimiento ocurrido  
el 21 de febrero de 1970.*