

Un sistema experto basado en reglas para la automatización de la elaboración de horarios para un conjunto de restricciones particulares

Pablo Gervás y Beatriz San Miguel
Departamento de Inteligencia Artificial
Universidad Europea de Madrid
Villaviciosa de Odón, Madrid 28670
e-mail: {pg2, [samni](mailto:samni@dinar.esi.uem.es)}@dinar.esi.uem.es

Palabras clave: Planificación, Elaboración automática de horarios, Sistemas expertos, Razonamiento basado en reglas.

Keywords: Scheduling, Automatic timetabling, Expert systems, Rule-based reasoning.

RESUMEN. *EAH (Elaborador Automático de Horarios) es un sistema experto que reproduce el conocimiento adquirido tras años de elaborar los horarios de la Escuela Superior de Informática de la Universidad Europea de Madrid (UEM). El conjunto de restricciones que impone la filosofía de la Universidad introduce complejas limitaciones diseñadas para minimizar el tiempo que pasan los estudiantes en el Campus y los conflictos entre asignaturas. El sistema está implementado en una herramienta basada en reglas que razona hacia delante, cuya ejecución es controlada oportunísticamente por las prioridades asignadas a las reglas. Mejora los mecanismos genéricos de elaboración de horarios por cuanto que permite la introducción de restricciones concretas que determinan la forma del horario resultante. Se establecen un conjunto de parámetros que permiten caracterizar numéricamente la calidad del horario solución. Estos parámetros representan las condiciones que debería satisfacer todo horario razonable de la ESI-UEM. El sistema se evalúa enfrentándolo a distintas colecciones de datos de entrada (asignaturas con distinto número de créditos, distintos prerrequisitos y distinta colocación de asignaturas fijas). Los resultados obtenidos cuentan con la aprobación del experto y se espera obtener en el futuro cercano una versión revisada para ser utilizada en la práctica.*

ABSTRACT. *EAH (Elaborador Automático de Horarios) is a rule-based expert system that captures the timetabling knowledge acquired over the years at Escuela Superior de Informática, Universidad Europea de Madrid (UEM). The set of restrictions imposed by the outlook of the UEM introduces complex limitations designed to minimise both the time spent on-campus by each student and the risk of conflict between different subjects.*

The system is implemented using a rule-based forward reasoning tool. Control is dictated opportunistically by the priorities assigned to each rule. It constitutes an improvement over generic timetabling algorithms inasmuch as it allows precise personal restrictions to be considered.

A set of parameters to characterise the quality of a solution timetable is established. These parameters represent the conditions that every reasonable timetable should fulfill at ESI-UEM. The system is evaluated by running it over different collections of data (different number of credits per subject, different prerequisites, and different placement of fixed subjects). The results obtained have been approved by the expert. It is expected that a revised version of the system will be in practical use in the near future.

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración del horario de la Escuela Superior de Informática de la Universidad Europea de Madrid implica la creación de horarios semanales para las asignaturas correspondientes a las dos titulaciones de cuya docencia se responsabiliza: una titulación de cinco años de Ingeniería Superior en Informática y otra de tres de Ingeniería Técnica en Informática de Gestión. Esto representa un problema real de un tamaño lo suficientemente grande como para poder evaluar la validez de las heurísticas obtenidas a partir de un experto humano e implementadas como reglas de un sistema experto, y al mismo tiempo lo suficientemente pequeño como para que el tiempo de cálculo sea mínimo y se puedan realizar cómodamente pruebas sobre el sistema. El problema consiste en asignar horas para la docencia de cada una de las asignaturas dentro de un marco horario de cinco días por semana y un máximo de seis horas lectivas por día. Cada una asignatura requiere de dos a cinco horas de docencia a la semana

El problema presenta una serie de características que son comunes a todos los sistemas de elaboración de horarios universitarios que siguen el modelo español en el que se pueden repetir asignaturas:

- Los alumnos suspenden asignaturas, lo que impide que el horario de cada curso se desarrolle de forma independiente respecto de los demás. Hay que ir creando los horarios de todos los cursos de forma simultánea, con el fin de minimizar las asignaturas que son incompatibles entre sí. Esto induce un problema que no es característico del sistema educativo anglosajón (en el que si un alumno suspende, abandona la Universidad), y que por tanto no ha sido tratado en la bibliografía conocida
- Cada profesor está encargado de la docencia de más de una asignatura, y éstas pueden encontrarse en cursos distintos. Por tanto, cabe la posibilidad de que se produzca un conflicto debido a la imposibilidad de que un profesor esté en dos sitios a la vez

El dominio elegido resulta interesante por las siguientes razones:

- La UEM tiene alumnos que provienen de un área geográfica muy amplia y alguno de sus alumnos tiene que desplazarse una gran distancia cada día. Alguno de sus estudiantes trabaja a tiempo parcial, con el fin de pagarse sus estudios. Por tanto, se debe hacer un especial esfuerzo en la planificación de todos los cursos de forma que cada uno de ellos se imparta en un bloque tan compacto como sea posible, sin que queden huecos entre la finalización de una clase y el comienzo de la siguiente. Este es un tipo especial de problema de horarios que se suele denominar *horario compacto*
- Las asignaturas de la Ingeniería Superior se imparten en una franja horaria que va desde las 8:30 de la mañana hasta las 14:30, y las de la Ingeniería Técnica desde las 14:30 hasta las 20:30. En ambos casos las primeras y últimas horas se consideran *áreas de desbordamiento*, y sería deseable que las horas lectivas se situaran dentro de la franja formada por las cuatro horas restantes.
- Se permite que un estudiante se matricule de casi tantas asignaturas como quiera, incluso si pretende matricularse de asignaturas de distintos cursos. Sumado al hecho de que la asistencia a clase es obligatoria, esto introduce un nuevo factor de riesgo a tener en cuenta: Se trata de impedir que una asignatura solape con más de una de los cursos predecesor o siguiente para impedir que cierre más de una asignatura en la matrícula del alumno (el sistema de matriculación impide que un estudiante escoja dos asignaturas con el mismo horario)
- Las asignaturas del plan de estudios pueden estar ligadas entre sí por una serie de relaciones duales llamadas *Prerrequisitos*. Si una asignatura es prerrequisito de otra, no se puede cursar la segunda hasta haber aprobado la primera. Eso quiere decir que es imposible que un alumno esté matriculado simultáneamente de una asignatura y de su prerrequisito. En consecuencia, la forma lógica de situar estas dos asignaturas es utilizar la misma franja horaria en sus

respectivos cursos, ya que así se minimiza el riesgo de conflicto que enunciábamos en el apartado anterior

- Ciertas asignaturas son competencia de otras facultades o departamentos, y sus horarios vienen impuestos por los responsables de su docencia. Estas asignaturas tienen así un horario fijo, que no puede ser modificado durante la planificación de un curso

2. TRABAJO PREVIO

Existe ya un considerable cuerpo de desarrollo en el campo de la elaboración automática de horarios (para una revisión exhaustiva, véase (Schaerf), (Burke, Elliman & Weare 1995). Durante los últimos años, este campo ha sido el origen de un importante grupo de trabajo (WATT, Working Group on Automated Timetabling) y de una conferencia periódica asociada a dicho grupo de trabajo (PATAT, Practice and Theory of Automated Timetabling)

Se han aplicado muchas y diversas técnicas al problema de la elaboración automática de horarios: coloreado de grafos, programación lógica con restricciones, algoritmos genéticos y programación evolutiva. Muchos de estos métodos han producido buenos resultados y algunos se han empleado en diversas instituciones a lo largo del mundo.

Todavía queda un hueco en el campo para aquellos sistemas que capturan el conocimiento del experto que se dedica a hacer los horarios de una institución en particular (como una translación del viejo sistema del papel y el lápiz a un sistema automático). Incluso si esto no nos permite obtener la mejor de las soluciones genéricas para un problema de planificación de horarios, un sistema experto diseñado para una tarea concreta producirá unos resultados magníficos para ese problema en particular.

Anteriormente ya se ha probado la técnica de soluciones basadas en el conocimiento para problemas en los que planificación con recursos limitados (Meisels, Kuflink & Gudes 1991), diseño de planes de estudios (Khoo & Pemberton 1993), calendarios laborables (Meisels, Gudes & Solotorevsky 1995), elaboración automática de horarios escolares (Khader & Buchanan 1995), elaboración automática de horarios universitarios (Chow, Loo, Kwan & Martinsons 1991), planificación de los cursos escolares y asignación de clases (Mathaisel 1985) y asesoramiento curricular de estudiantes y planificación (Golumbic, Markovich, Tsur & Schild 1986) (Kowalsky & Ealy 1991).

El presente sistema constituye una mejora sobre el trabajo de (Gervás & San Miguel 1999), en el que se planteaba una solución similar al problema de la elaboración de horarios. Gervás et al consideraba un conjunto de requisitos equivalente, pero estructuraba la solución como una construcción incremental controlada de manera secuencial. El presente artículo describe un tratamiento alternativo del mismo problema basado en un control oportunista, además de incluir requisitos nuevos e introducir mejoras en el procedimiento de evaluación de los horarios resultantes.

3. EL SISTEMA EAH

3.1. La estrategia usada por el experto

La estrategia usada por el experto se puede describir como sigue:

- En primer lugar se colocan las asignaturas cuyo horario está prefijado en sus respectivos emplazamientos

A continuación, el resto de las reglas que se emplean están orientadas a que un alumno se pueda matricular del máximo de asignaturas posibles. Teniendo en cuenta que la asistencia a clase es obligatoria, hay que intentar que aquellos alumnos que hayan suspendido una asignatura de un curso, puedan matricularse del máximo de asignaturas posibles del siguiente curso. Eso quiere

decir que hay que buscar una colección de pares de asignaturas que se impartan al mismo tiempo en un curso y su sucesor.

- En primer lugar se emparejan con su prerrequisito todas aquellas asignaturas que lo tengan, ya que es imposible que un alumno se matricule simultáneamente de este par de asignaturas
- En segundo lugar, se establece una cierta relación por contenidos, ya que si un alumno ha suspendido una asignatura de un departamento dado, las asignaturas del siguiente curso con las que encontrará mayores dificultades pertenecerán al mismo departamento, (suponiendo una cierta afinidad entre los contenidos de las asignaturas adscritas a un mismo departamento)
- En el caso de que en un mismo curso haya más de un candidato a formar pareja con la asignatura del curso anterior, se debe escoger aquella cuyo número de créditos coincida

Al final de este proceso cabe la posibilidad de que una asignatura no forme parte de ningún par, ya que no todos los cursos tienen el mismo número de asignaturas. Estas asignaturas sueltas son las que se van a colocar en último lugar

- Siempre que el sistema tenga que seleccionar qué asignatura será la siguiente en colocarse, se elige una del curso que tenga ya más horas ocupadas, ya que cuanto más ocupado empiece a estar el horario de un curso, más complicado se vuelve colocar una nueva asignatura en las posiciones libres
- Una vez seleccionado el curso al que pertenece la siguiente asignatura, para escoger una entre las posibles, se seleccionan en primer lugar aquellas asignaturas que son prerrequisitos de otras.

En este proceso sigue siendo prioritario que los horarios no tengan huecos, y esto induce otra serie de reglas a aplicar en el sistema:

- Las asignaturas optativas se deben colocar al final o al principio del horario, , para evitar que si un alumno no está matriculado de ellas tenga un hueco libre.
- La restricción es un poco más compleja de imponer, porque se contempla la posibilidad de que existan especialidades. En ese caso, si a segunda hora hay una optativa de la Especialidad 1, a primera sólo puede haber otra de esa misma especialidad, y lo mismo a penúltima y última horas (en caso contrario quedaría un hueco a segunda hora, o a penúltima, en el horario de los alumnos que no cursaran la Especialidad 1)

Las áreas de desbordamiento se usan sólo en el caso de que sea imprescindible, ya que a nadie le gusta levantarse pronto y tampoco dar clase en la hora de la comida. Otro factor importante es equilibrar el número de horas lectivas que se imparten cada día, no puede haber seis horas de clase los lunes y dos los martes

3.2. La estructura del sistema

El sistema parte de un horario vacío y construye progresivamente una solución a partir del horario resultante en el paso previo. En cada paso coloca la asignatura con más restricciones. Para que esta estrategia funcione es importante comprobar antes de dar cada paso que no se viola ningún requisito fuerte.

Datos de entrada:

El sistema opera a partir de los siguientes datos:

- Plan de estudios de la carrera; para cada asignatura se debe especificar el nombre del profesor, el número de horas a la semana de que consta su docencia, la titulación a la que corresponde, si tiene prerrequisitos, el curso en el que se imparte, si es obligatoria o optativa, y, caso de ser optativa, a qué especialidad pertenece.
- Plantilla del horario (seis horas al día durante cinco días)

- Lista de profesores, incluyendo restricciones sobre su disponibilidad (horas a las que el profesor está ocupado por la razón que sea: contrato a tiempo parcial, clases en otras carreras...)
- Lista de asignaturas con horario fijo, y para cada una de ellas, las horas a las que se debe impartir

Estructura general

El sistema consta de dos módulos relativamente independientes: la base de reglas de selección que, dado un horario parcial y la lista de asignaturas por colocar, permite seleccionar qué asignatura se va a colocar la siguiente, y la base de reglas de colocación que, dado un horario parcial y una asignatura ya seleccionada, deciden en qué punto colocarla.

Flujo de control

El sistema está implementado en una herramienta basada en reglas que razona hacia delante. Como tal, no existe una estructura fija de control, sino que las reglas se van disparando automáticamente a medida que la evolución del programa va haciendo que se cumplan sus precondiciones. En caso de conflicto entre dos o más reglas para un estado concreto del sistema, cada regla tiene asignado un valor numérico que indica su prioridad en el orden de aplicación. La selección de los valores para las prioridades de cada regla se ha hecho en función de los criterios aplicados por el experto.

3.3. Reglas que permiten elegir la asignatura que va a ser colocada

El proceso empieza por la elección del curso con el que se va a trabajar. Esta elección está implementada en una regla que se dispara por defecto cuando: no hay ninguna asignatura elegida, no hay ninguna asignación de horario fijo por procesar, y no hay ninguna asignatura colocada con prerequisites por colocar o asignatura por colocar con prerequisites colocados. Se elige en cada caso el curso que tenga más horas ya asignadas de entre aquellos a los que todavía les falten asignaturas por colocar. A partir de la elección de un curso concreto comienzan a operar las siguientes reglas.

Las restantes reglas del módulo de selección tienen en cuenta típicamente la siguiente información:

- los datos de una asignatura concreta
- información sobre si es fija o no
- información sobre el estado de sus prerequisites o asignaturas de las que sea prerequisites en años contiguos (no se consideran estas relaciones entre años no contiguos)
- en el caso de que se trate de una asignatura optativa de una especialidad concreta, se tiene en cuenta si ya hay colocada en ese curso alguna asignatura optativa de la misma especialidad

Las prioridades están elegidas para que se coloquen las asignatura en el siguiente orden:

- asignaturas fijas
- asignaturas obligatorias cuyos prerequisites ya están colocados o asignaturas que son prerequisites de otras ya colocadas
- asignaturas obligatorias cuyos prerequisites no están colocados o asignaturas que son prerequisites de otras no colocadas
- asignaturas obligatorias que no tengan prerequisites y no sean prerequisites
- asignaturas optativas de especialidades para las que no haya colocada todavía ese año ninguna otra optativa
- asignaturas optativas

Esta elección de prioridades consigue que se cumplan los requisitos descritos por el experto. La decisión de conceder la prioridad máxima a las asignaturas cuya posición es fija y se conoce no requiere justificación.

Tan pronto se conoce la posición en el horario de una asignatura, se da prioridad a la colocación de todas las que está relacionadas con ella.

Se colocan primero todas las asignaturas obligatorias para asegurarse de que las optativas queden en los extremos del horario.

Se da prioridad a las asignaturas optativas de especialidades que no se hayan empezado a colocar porque cada optativa de una especialidad colocada en la primera o la última hora libre de un día bloquea ese día para la colocación de optativas de especialidades alternativas (si una vez que ya se ha colocado una asignatura de la Especialidad 1 a la hora temprana más tardía que está libre en un día concreto, se coloca otra de la misma especialidad a la hora tardía más temprana del mismo día, ya no se puede poner ninguna asignatura de ninguna otra especialidad sin dejar un hueco libre en el horario de los alumnos que no tengan la Especialidad 1). Por esa razón, las optativas de especialidades no colocadas todavía constituyen gérmenes sobre los que colocar las demás optativas de la especialidad, y es importante que se planten esos gérmenes tan pronto como sea posible en el proceso de elaboración del horario.

3.4. Reglas que permiten colocar una asignatura

El proceso de elegir posición para una asignatura es el más complicado de codificar mediante reglas. El conocimiento que aplica el experto en este caso es esencialmente intuitivo, de naturaleza en gran parte visual y de concepción del espacio. Aún así, se ha conseguido codificar gran parte de ese conocimiento recurriendo a una representación de bajo nivel de los conceptos involucrados: espacio vacío, espacio asignado a esta asignatura, espacio asignado a otras asignaturas, contigüidad horizontal, contigüidad vertical, espacio vacío que deja un hueco en el horario en un día concreto (tiene espacios llenos antes o después ese mismo día), y espacio vacío que deja un hueco en una banda horaria (tiene espacios llenos en esa banda horaria el día anterior y el día siguiente). En función de esos conceptos se han definido las reglas que codifican a los criterios aplicados por el experto. Se trata de una primera aproximación debido a la naturaleza del conocimiento a codificar, poco dado a una representación verbal.

Las reglas que colocan una asignatura parten de las características de dicha asignatura y del contenido del horario para el curso correspondiente obtenido hasta ese punto. Cada regla elige posición para una nueva hora de la asignatura que se esté colocando. La decisión se toma en función de los siguientes conceptos:

- Si existen posiciones predefinidas para colocar (posiciones en las que va fija la asignatura o posiciones en las que, en cursos contiguos, hay colocados prerrequisitos o asignaturas relacionadas)
- Si no se ha colocado antes ninguna hora de esta asignatura
- Si existen huecos en el horario que se deban rellenar
- Si hay huecos libres en el horario cerca de otras horas ya colocadas de esa asignatura
- Si hay huecos libres en el horario cerca de otras asignaturas ya colocadas
- Si el profesor está libre a esa hora
- Si la asignatura es obligatoria u optativa
- Y en el caso de las optativas, si las asignaturas inmediatamente anteriores (si se coloca en la última hora libre) o posteriores (si se coloca en la primera hora libre) corresponden a son obligatorias u optativas de la misma especialidad

La asignación de prioridades a estas reglas se ha realizado para que el comportamiento del sistema sea lo más parecido posible al comportamiento del experto. Es en este punto donde el sistema es susceptible de mejoras considerables. El experto aplica en este proceso bastante conocimiento que todavía no ha conseguido formalizarse de manera eficiente. Es de esperar que en el momento en que esto se consiga se producirán sustanciales mejoras de los resultados.

4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

4.1. Criterios de Evaluación de un horario

Se eligieron un conjunto de parámetros que permiten caracterizar numéricamente la calidad del horario solución. La elección de estos parámetros se basa en una interpretación de los criterios presentados por el experto que describen las condiciones que debería satisfacer todo horario razonable:

- Conflictos, es decir, las ocasiones en que se pretende que un mismo profesor esté impartiendo clase en dos sitios diferentes al mismo tiempo. Un horario con conflictos es inaceptable
- Número de huecos
- Asignaturas que tienen asignada más de una hora de clase en un mismo día. Este criterio no tiene en cuenta aquellas asignaturas cuyo horario ha sido prefijado por el departamento encargado de su docencia
- Número de horas de las franjas de desbordamiento que se utilizan. Este criterio sólo se aplica en el caso de que se haya utilizado alguna hora de las franjas de desbordamiento y todavía queden horas libres en la franja horaria normal
- Número de horas de una asignatura con prerequisites que no solapan con las horas en las que se imparte su prerequisite. Al aplicar este criterio en la evaluación no se tienen en cuenta aquellas horas de una asignatura con mayor número de créditos que su prerequisite, que no solapan con las horas a las que se imparte la asignatura de la que depende
- Número de asignaturas que coinciden con más de una de los cursos anterior y siguiente

El número de conflictos representa una restricción fuerte y el sistema debe producir un horario sin conflictos. En cambio el número de huecos y el número de asignaturas que coinciden con más de una de los cursos anterior y siguiente se consideran restricciones débiles, en el sentido de que las soluciones que presenten algunas de estas dos restricciones se pueden considerar aceptables cuando no sea posible encontrar ninguna solución libre de estos dos impedimentos.

El resto de los parámetros se toman como una indicación de la calidad de una solución.

4.2. Rendimiento del sistema

El experto tiende a producir un diseño inicial de la planificación que experimenta posteriormente numerosas modificaciones. Una vez que se han fijado todas las asignaturas, es más fácil realizar los intercambios que logran un perfecto ajuste de la asignación de laboratorios, de las restricciones específicas de cada profesor, o las limitaciones de que sólo una asignatura puede utilizar a la vez un determinado paquete software. Así que lo que se pretende realmente es que el sistema elabore una primera versión a partir de la cual el experto produzca los horarios definitivos que se ajusten a las demandas reales con mucho menos esfuerzo

La tabla siguiente ilustra los resultados de la evaluación del sistema enfrentado a distintas colecciones de datos de entrada, utilizando los criterios propuestos por el experto:

Datos	Conflictos	Huecos	Repeticiones	F.D.	Off	Monta2
1	1	1	2	1	10/64	9
2	0	1	0	1	7/64	8
3	0	0	1	0	8/64	8
4	0	0	2	0	8/64	9
5	1	0	0	0	12/64	14
6	0	0	2	0	12/64	7
7	1	1	0	0	12/64	12
8	0	0	0	3	10/64	6

La primera de las columnas de la tabla **datos** representa el juego de datos empleado para hacer las pruebas. Se ha preparado una colección de archivos en los que básicamente se varían tres parámetros: el orden en el que se introduce la lista de asignaturas, la existencia o no de prerequisites y la hora a la que se colocan las asignaturas fijas.

La columna **Conflictos** se corresponde con el primero de los criterios de evaluación mencionados (número de ocasiones en que un profesor tendría que estar en dos sitios a la vez). La columna **Huecos** representa el número de huecos que quedan en la mitad del horario de algún curso. La columna **Repeticiones** indica el número de asignaturas que impartirían clase dos veces en un mismo día. La siguiente columna, **F.D.**, representa el número de veces en que se usa alguna de las horas de la franja de desbordamiento habiendo horas libres en la franja normal. La columna **Off** indica el número de clases que no se sitúan en la misma hora que sus prerequisites, y finalmente, la columna **Monta2** indica el número de asignaturas que solapan con dos del curso anterior o siguiente

Los casos en los que el sistema muestra peores resultados se corresponden con la introducción de las asignaturas fijas al final de la franja horaria normal (datos 2 y 7). Era de esperar, ya que situar asignaturas en esa banda hace que los cursos superiores que son los que mayor número de horas lectivas tienen se encuentren con una limitación adicional a la hora de colocar las asignaturas optativas (estos cursos son los que obligan a utilizar la llamada franja de desbordamiento)

En el caso de proporcionársele al sistema un juego de datos en los que han desaparecido todos los prerequisites, el sistema se demostró incapaz de determinar una solución, por agotársele el tiempo de cálculo asignado. También es lógico, ya que si no existen prerequisites es mucho más costoso emparejar las asignaturas (hay un número mucho mayor de posibilidades a explorar)

El caso 6 representa la evaluación del horario que hace el sistema si se le enfrenta a los datos reales del Plan de estudios de la Ingeniería Superior en Informática, y el caso 8 el resultado de evaluar, siguiendo los mismos criterios, el horario elaborado por el experto para el curso 99-2000. Es cierto que el experto tiene en cuenta algunas restricciones que todavía no se hallan implementadas en el sistema, pero es fácil darse cuenta de cuán significativamente de cerca le sigue nuestro sistema

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El conjunto de restricciones que nos han permitido realizar la especificación del sistema EAH, se pueden aplicar sin más que ligeras modificaciones a multitud de casos. De hecho, la estrategia propuesta por el experto se ha aplicado ya con éxito a la elaboración de los horarios de licenciaturas correspondientes a otras facultades

La solución que se ofrece no es la mejor de las posibles, sino que es una entre las soluciones válidas que no violan las restricciones fuertes y sólo incumplen algunas de las restricciones débiles, tal y como se refleja en la tabla de resultados anterior.

La versión actual del sistema se ha desarrollado a lo largo de un proceso incremental, en estrecha colaboración con el experto. Se ha ido validando sucesivamente y son las sugerencias del experto las que han permitido que el sistema fuera mejorando. Aún así, sólo se ha aplicado una porción del conocimiento que el experto ha adquirido a lo largo de años de realizar este mismo trabajo, y sólo esa parte es la que ha dado lugar a las reglas que dirigen el funcionamiento del sistema.

Una facilidad a añadirle al sistema es la introducción de nuevos prerequisites fuertes (como el uso de laboratorios o de paquetes software), o la posibilidad de elaborar de forma conjunta los horarios de todas o algunas de las carreras que imparte la Universidad, para que no sólo se tengan en cuenta las necesidades de los alumnos sino también las de los docentes, de forma que también estos últimos tengan un horario lo más compacto posible

Otra de las posibles líneas en las que continuar trabajando sería el desarrollo de un sistema que dado un horario, facilite la realización de modificaciones sobre el mismo, es decir, que si el usuario hace un cambio en un curso explore cómo se traslada ese cambio a los demás cursos. De forma que la versión definitiva de EAH todavía está en fase de desarrollo, y es de esperar que en el futuro ofrezca resultados aún mejores.

6. APÉNDICE: ALGUNAS CUESTIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN EN CLIPS

6.1. Definición de las estructuras de datos

Para definir cada una de las estructuras de datos necesarias en el sistema (asignatura, horario, profesor) se utiliza una plantilla CLIPS que la represente:

```
(asignatura      (num 7) (year 1) (name ii) (creditos 4) (placed 4) (prerreq 19) (profe alb)
(tipo obli) (esp nil))
```

La plantilla correspondiente a cada asignatura tiene los siguientes campos: `num` que es simplemente un índice de referencia, `year` representa el curso en el que se imparte dicha asignatura, `name` como es lógico es un símbolo mnemotécnico para representar el nombre de la asignatura, `creditos` indica cuántos créditos tiene la asignatura, `placed` es una variable que indica durante la ejecución del programa cuántas horas a la semana faltan todavía por colocar, `prerreq` almacena el número de referencia de la asignatura que es prerequisite de la que se corresponde con esta plantilla, `profe` representa al profesor encargado de su docencia, `tipo` indica si la asignatura es obligatoria u optativa, y `esp` indica la especialidad a la que pertenece en caso de que sea optativa.

Cada horario se representa como una plantilla de la forma:

```
(curso
  (carrera 1)
  (anno 1)
  ;      L M X J V
  (hor   v v v v v      ;      8:30      ;      horario vacio
        v v v v v      ;      9:30
        v v v v v      ;      10:30
        v v v v v      ;      11:30
        v v v v v      ;      12:30
        v v v v v      ;      13:30
  ))
```

en la que el campo `carrera` es un identificador que indica cuál es la licenciatura para la cual estamos haciendo el horario, `anno` representa el curso, y `hor` es una matriz de 30 posiciones, cada una de las cuales se corresponde con una hora lectiva, que se inicializa a vacía (lo que representamos mediante la letra `v`)

Finalmente, cada profesor se representa mediante una plantilla como la siguiente:

```
(ocupado (profe osc) (docencia nil))
```

con los campos: `profe` que representa el nombre del profesor y `docencia` que es una lista con un número de elementos variable que se corresponden con aquellas horas a las cuales está ocupado el profesor. Por defecto, esta lista se inicializa a vacío, que es lo que representa la cláusula `nil`, y se va actualizando a medida que se le asigna horario a las asignaturas que imparte dicho profesor, pero el sistema también permite introducir restricciones en el horario de un profesor, en principio por ser a tiempo parcial o porque tenga autorizadas unas ciertas horas de investigación en otra institución.

6.2. Información de entrada

Los datos requeridos por el programa con el fin de que pueda producir un horario, se le proporcionan como una lista de hechos (deffacts) que se declaran en memoria antes de la ejecución. Esto incluye la información del plan de estudios y de las asignaturas, los horarios, la lista de docentes, y una lista de asignaturas cuyo horario está prefijado de antemano

REFERENCIAS

- Burke, EK., Elliman, DG. y Weare, RF (1995): The Automation of the Timetabling Process in Higher Education, in: *Journal of Educational Technology Systems*, vol 23, no 4, pp 257-266, Baywood Publishing Company.
- Chow, K.O., Loo, W.S., Kwan, C.M., y Martinsons, M.G.(1991): An Object-oriented Expert System in Academic Timetabling, *Proc. National Conf. on Information Technology*, Malaysia, 1991, pp. 90-96.
- Golumbic M.C., Markovich M., Tsur S. y Schild U.I.(1986): A Knowledge-Based Expert System for Student Advising, *IEEE Transactions on Education*, 34 (1986), N. 2, 120-123.
- Khoo S. y Pemberton L.(1993): A Knowledge-Based Environment for Curriculum and Lesson Design, Artificial Intelligence in Education'93. *Proceedings of AI-ED'93 World Conference*, Edinburgh, 23-27 August 1993, P.Brna, S.Ohlsson and H.Pain (eds.), USA: AACE, 322-329.
- Khader A. T. y Buchanan J. T.(1995): School timetabling: a knowledge-based approach. *Proceedings of the First International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (ICPTAT '95)*, pp. 99-111.
- Meisels, A., Gudes, E. y Solotorevsky, G.(1995): Employee timetabling, constraint networks and knowledge-based rules: a mixed approach. *Proceedings of the First International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (ICPTAT '95)*, pp. 504-510.
- Kowalski, K. y Ealy, D.(1991): Schedule Advisement Expert System, *Computers and Education*, 17(1991), N. 4, 259-265.
- Mathaisel D.F.X.(1985): Expert System Software for Academic Course and Classroom Scheduling, Working Paper, Babson College.
- Meisels A., Kuflik T. y Gudes E.(1991): Limited-Resource Scheduling by Generalized Rule-Based System, *Knowledge-Based Systems*, vol 4, no 4, pp 215-224, Butterworth-Heinemann, December 1991.
- Schaerf A: *A Survey of Automated Timetabling*, Centrum voor Wiskund en Informatica (CWI) report CS-R9567, Amsterdam, The Netherlands. (A revised version will appear in "Artificial Intelligence Review".)
- Gervas, P. y San Miguel, B.(1999): Sequential Building of Constrained Timetables Using Rule-Based Heuristics: An Expert System for Automated Timetabling at UEM, 6to. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Computacionales CIICC '99, Cancún, México, septiembre 1999.