

VIE-Que las aulas y horarios asignados a un curso en un proceso de asignación anterior, los cuales son mantenidos en el archivo, sean consistentes con las asignaciones hechas hasta el momento.

Las restricciones que se mantienen en cada uno de los pasos son las siguientes, entendiéndose que si no se satisface alguna de ellas, entonces no se hace la asignación

PASO 1
DED.

PASO 2
DED.
TEO.
CNF.

PASO 3
DED.
ZON.
CUP.
TIP.

PASO 4
VIE.

PASO 5
DED.
CNF.
TEO.
ZON.
CUP.
TIP.

PASO 6
DED.
CNF.
ZON.
CUP.
TIP.

Resumiendo, se realizan 8 pasos en el siguiente orden:

- 1-PASO 1 para cursos teóricos.
- 2-PASO 2 para cursos teóricos.
- 3-PASO 3 para cursos teóricos.
- 4-PASO 4 para cursos teóricos.
- 5-PASO 5 para cursos teóricos.
- 6-PASO 6 para cursos teóricos.
- 7-PASO 1 para cursos de laboratorio.
- 8-PASO 1 para cursos de laboratorio.

Si se logra hacer la asignación, se hacen las correspondientes actualizaciones en las disponibilidades de los profesores y las aulas, para no hacer una doble asignación en cursos posteriores.

También se actualizan dos atributos en los cursos:

El indicativo de que se logró hacer la asignación se coloca en el estado 1.

El paso real se coloca en el estado igual al paso en que se logró hacer la asignación. Si para un curso no se hace la asignación, el paso real permanece en cero.

Es posible que un curso tenga una asignación en un paso real diferente al teórico. Por ej. si a un curso se le predefinen el aula y el horario, de acuerdo con la definición hecha arriba su asignación se debe hacer en el paso 1 (paso teórico). Pero si al hacer el paso 1 esa aula está ocupada en ese horario porque otro curso también había manifestado el deseo preferente de esa aula en ese horario, entonces la asignación no se hace en el paso 1, pero al hacer los pasos subsiguientes el curso puede lograr la asignación de aula y horario en el paso 4 por ej. (paso real), con lo que el curso queda con su asignación, pero no en el aula y horario que se habían escogido como preferentes.

4- IMPLEMENTACION Y EVALUACION

Antes de exponer los resultados obtenidos en dos pruebas hechas en los procesos de asignación tanto de profesores como de aulas y horarios, se exponen las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas.

4.1 ASIGNACION DE PROFESORES A LOS CURSOS.

El algoritmo esta implementado en FOXPRO versión 2.6 (El algoritmo está implementado en el programa ASIPRO.PRG).

No es del caso entrar en los detalles sobre como se obtiene el número de cursos con base en las demandas, ya que ello aparece muy bien explicado en el anexo, pero si se expone brevemente, pues el interés de las pruebas es cuantificar la eficiencia y la variabilidad de ésta ante le variación de algunos de los parámetros.

La estructura de árbol se implementó como un archivo plano (INTASP) tal como se explica a continuación.

A los cursos y a los profesores se les asigna un consecutivo en forma aleatoria, con el fin de buscar equidad en la asignación. Con ésto se logra que el consecutivo del curso sea el nivel en el árbol, y la asignación se hace a los cursos en el orden de su consecutivo. Así, el curso 1 es la variable X1, el curso 2 la variable X2, etc. El profesor 1 es el valor V1, el profesor 2 es el valor V2, etc.

Esto facilita el manejo de los subíndices, pero debe dejarse un archivo con las equivalencias, que permitan al final del proceso de asignación volver a hacer la traducción inversa de los consecutivos a los respectivos códigos de cursos y profesores.

El archivo plano contiene cuatro atributos o campos :

- 1- Consecutivo del curso
- 2- Consecutivo del profesor
- 3- Horas por semana requeridas por el curso (para mantener la restricción de máximo número de horas por semana del profesor)
- 4- Indicador que permite manejar el proceso de ascenso (backtracking) y descenso por el árbol.

Este indicador toma los valores siguientes:

- 0: al curso no se le ha asignado profesor.
- 1: al curso se le ha asignado ese profesor.
- 2: al curso se le ha asignado otro profesor.

Los módulos (o subrutinas) del procedimiento de asignación son los siguientes:

De los archivos de materias y profesores (que se encuentran explicados en los anexos) se crea el archivo plano con un registro por cada combinación posible de curso y profesor, con las horas por semana del curso y con el indicador en cero para todos los registros. En este archivo tal como se indicó arriba los cursos y los profesores se han designado por un consecutivo y no por su código.

Así por ej. si el curso 3 están en capacidad de dictarlo los profesores 5, 6 y 7 y el curso tiene una intensidad de 6 horas semanales se crean tres registros en el archivo plano con los cuatro campos en su orden así:

curso	profesor	hrs. por semana del curso	Indicador
3	5	6	0
3	6	6	0
3	7	6	0

Una vez creado e inicializado el archivo plano (ASIPRO) se realiza el algoritmo STANDARD BACKTRACKING.

Para ello además del archivo plano se mantienen dos vectores en memoria (para darle velocidad al proceso se manejan como vectores y no como archivos).

El vector VI tiene tantos elementos como cursos hay y en el se va almacenando la solución que se lleva hasta el presente.

El vector SP tiene tantos elementos como profesores hay y él se inicializa con las horas por semana disponibles de cada profesor y en el proceso de asignación se actualiza constantemente, disminuyendo su valor cuando un profesor se asigna a un curso y aumentándolo cuando en el proceso de backtracking se debe deshacer una asignación ya hecha. De esta forma, cuando se hacen las asignaciones, este vector permite saber si un profesor está habilitado para dictar un curso: si el requerimiento de horas del curso es mayor que el saldo disponible en el vector SP no se asigna ese profesor y se continúa con la búsqueda de otro.

El problema entra en un ciclo indefinido del cual solo se sale cuando se detecta la condición de no factibilidad, en cuyo caso se obtiene el mensaje 'PROBLEMA SIN SOLUCION', o cuando se logra hacer la asignación de profesores a todos los cursos.

Durante el proceso de asignación se maneja una variable K , que representa el curso (nivel en el árbol), de modo que a cada curso se le asigna el profesor con mayor disponibilidad de horas (del vector SP). El registro de ese profesor se actualiza con un '1' en el campo indicador y los demás registros del mismo curso para otros profesores se actualizan con un '2' en el campo indicador.

Una vez hecha la asignación al curso K , se incrementa K en uno y se continúa con el proceso hasta haber recorrido todos los cursos (se desciende un nivel en el árbol).

Si en el momento de tratar de hacer la asignación a un curso (en el nivel K) no es posible, dado que ninguno de los profesores potenciales tiene las suficientes horas disponibles, el proceso retrocede al curso ($K-1$) y le asigna el siguiente profesor disponible a ese nivel para lo cual cambia los indicadores a '1' para la nueva asignación y a '2' para los demás profesores de ese curso. Todos los indicadores de nivel superior a K se ponen en cero, ya que cualquier asignación previamente hecha no es válida.

Si en el nivel ($K-1$) no es posible encontrar un nuevo profesor, entonces se retrocede un nivel más (se hace $K=K-1$ y se continúa con el procedimiento).

De esta forma se termina el algoritmo con la condición de no factibilidad o con la solución al problema.

La solución se encuentra recorriendo el archivo plano y buscando para cada curso el registro que tenga el indicador en '1'. El consecutivo de profesor de ese registro es el asignado.

Terminado el proceso anterior, debe hacerse, como se dijo antes, la conversión inversa de los consecutivos de cursos y profesores a sus respectivos códigos para tener así la solución.

4.2 ASIGNACION DE AULAS Y HORARIOS A LOS CURSOS.

Al igual que en el proceso de asignación de profesores, para buscar eficiencia se asigna un consecutivo aleatorio a los cursos para buscar equidad en la asignación.

Similar al proceso de asignación de profesores, la asignación de horarios y aulas requiere la creación de un archivo plano (MAEASS), que contiene entre otros los siguientes atributos o campos

- 1- Código del curso
- 2- Zona donde debe estar el aula asignada
- 3- Doce campos o atributos para asignar doce horas diferentes a un curso
- 4- Doce campos o atributos para asignar doce aulas diferentes a un curso y que corresponde en su orden a las aulas de las horas definidas en el atributo tres.
- 5- Paso teórico en el que se debe hacer la asignación y que se explica más adelante.
- 6- Paso real en el que se hace la asignación y que se explica más adelante.
- 7- Indicador de la asignación: '0' quiere decir que no se le logró hacer asignación de aula y horario al curso,
'1' quiere decir que si se logró hacer la asignación.

Nótese que de acuerdo con lo descrito en los atributos 3 y 4 las sesiones de un curso no deben exceder de doce horas semanales.

Antes de iniciar el proceso se ponen en cero tres atributos que posee cada curso: paso teórico, paso real y el indicador de asignación

Es posible que no todos los cursos terminen este proceso con una asignación de aula, ya que puede haber conflictos de horarios de profesores o aulas o incapacidad del número de aulas disponibles, etc.

De todas formas el proceso indica al final a cuales cursos no se les logró hacer la asignación, para proceder a hacerla en forma manual.

Adicional el archivo plano arriba descrito, existen dos vectores que se manejan en memoria para darle eficiencia y velocidad al proceso:

1-AUL que maneja a nivel de bit para cada aula las horas que ya han sido ocupadas por cursos a los que se les ha logrado hacer asignación

2-ADE que maneja a nivel de bit para cada profesor las horas que ya han sido ocupadas por cursos a los que les ha logrado hacer asignación

Siempre que se logra asignar un aula y su horario se actualizan estos dos vectores, para evitar que en asignaciones posteriores se asigne un profesor o un aula a dos cursos distintos en el mismo horario. Con ésto se logra hacer cumplir este tipo de restricciones.

Los dos programas arriba descritos: ASIPRO que hace la asignación de profesores y ASIAUL que hace la asignación de aulas y horarios fueron desarrollados en FOXPRO 2.6.

En su desarrollo se buscó la más alta eficiencia computacional, especialmente desde el punto de vista de tiempo de ejecución, ya que la ocupación de espacio en disco no es tan importante, dados los bajos costos de los discos y el hecho de que la magnitud de los archivos no es demasiado grande.

El manejo de los vectores en memoria utilizados en los dos programas con el fin de lograr alta velocidad de ejecución tiene quizás el inconveniente de que el número máximo de elementos está restringido por la disponibilidad de memoria, y peor aún en el caso del FOXPRO, por un requerimiento que tiene el lenguaje sobre el tamaño máximo de un vector, pero de todas formas estos límites superiores son muy altos, suficientes para la asignación de cualquier problema práctico.

4.3 GENERACION DE DATOS DE PRUEBA

Para facilitar las pruebas se diseñaron dos programas que generan automáticamente profesores (GENPRO) y aulas (GENAUL).

Los profesores y las aulas se generan con un código que es un consecutivo desde el número 1 hasta el número deseado en ambos casos.

Adicionalmente y para evitar la generación de datos y el proceso en forma manual se diseñó otro programa que genera lo que se denomina un caso (GENCAS) que invoca los dos anteriores y los ejecuta automáticamente leyendo los datos de número de profesores y número de aulas de un archivo denominado CASO, que contiene además el número del caso, un indicativo de si se debe ejecutar ese caso y el número del grupo ya que los casos se agruparon en conjuntos denominados grupos de características similares que para el caso son siete.

Se supusieron 7 materias cada una con requerimientos de 20 alumnos por curso y a todas las aulas se les asignó una capacidad de 40 alumnos y a los profesores una disponibilidad de 12 horas por semana.

Igualmente se asumieron unas sesiones estándares para la asignación de los horarios iguales para todas las materias. La definición de lo que es una sección aparece en el apéndice.

El número de cursos de cada materia se controla por medio de la demanda o número de estudiantes que requieren un curso, el cual se varía en cada caso. Dividiendo la demanda de la materia por el número promedio de estudiantes de cada curso para esa misma materia se obtiene el número de cursos que se deben dictar de dicha materia. Para el caso se supusieron cursos de 20 estudiantes, con lo que el número de cursos es igual a la demanda dividida por 20.

Si bien la aplicación permite la asignación de una serie de parámetros particulares a cada profesor y a cada aula, adoptamos estas características tan homogéneas para facilitar estos programas de generación automática de profesores (GENPRO) y de aulas (GENAUL).

En total, como se dijo anteriormente, se realizaron 39 ejecuciones o pruebas divididas en 7 grupos, variando en cada una de ellas los parámetros de número de profesores, número de aulas, número de cursos y los cursos que está en capacidad dictar cada profesor.

La ejecución de cada caso genera un registro en un archivo de estadísticas denominado ESTADI que contiene además del código del grupo y del caso los siguientes atributos:

Indsol: Indicativo de si se le encontró solución al caso (1) o no se le encontró (0).

Numprof: Número de profesores disponibles por el caso.

Numaula: Número de aulas disponibles para el caso.

Numcurs: Número total de cursos a dictarse para el caso.

Durpro: Duración en segundos de la ejecución del algoritmo de asignación de profesores.

Duraul: Duración en segundos de la ejecución del algoritmo de asignación de aulas.

Curcau: Número de cursos a los que se les logra asignar aula.

Debe tenerse en cuenta que la duración de los procesos heurísticos de asignación de profesores y aulas depende de las características del computador donde se realiza. Para el presente ensayo se utilizó un procesador de 1 Mhz, 128 K de memoria principal y 40 Gigas en disco.

El archivo ESTADI con las estadísticas de los 39 casos ejecutados aparece a continuación:

grupo	caso	indsol	numprof	numaula	numcurs	Durpro	duraul	curcau
1	1	1	100	100	70	2	0,5	70
1	2	1	100	100	140	9	1,5	140
1	3	1	100	100	210	21	2,6	210
1	4	1	100	100	280	37	3,6	280
1	5	0	100	100	350	0	0	0
2	11	1	200	10	70	5	0,5	70
2	12	1	200	10	140	18	1,7	80
2	13	1	200	10	210	41	3,1	80
2	14	1	200	10	280	72	4,1	80
2	15	1	200	10	350	113	5,4	80
2	16	1	200	10	420	163	6,9	80
3	21	1	200	15	70	5	0,5	70
3	22	1	200	15	140	18	1,5	120
3	23	1	200	15	210	41	3,3	120
3	24	1	200	15	280	73	4,6	120
3	25	1	200	15	350	113	6,2	120
3	26	1	200	15	420	169	9,9	120
4	31	1	200	25	70	5	0,5	70
4	32	1	200	25	140	18	1,5	140
4	33	1	200	25	210	41	3,1	210
4	34	1	200	25	280	73	5,3	225
4	35	1	200	25	350	114	7,8	225
4	36	1	200	25	420	164	10,3	225
5	41	1	300	100	490	332	24,4	490
5	42	1	300	100	560	433	31,9	560
5	43	1	300	100	630	548	39,7	630
5	44	1	300	100	686	719	46,3	686
6	111	1	200	10	70	2	0,5	70
6	112	1	200	10	140	9	1,7	90
6	113	1	200	10	210	21	3,1	90
6	114	1	200	10	280	37	4,5	90
6	115	1	200	10	350	57	5,9	90
6	116	1	200	10	420	83	7,3	90
7	211	1	200	25	70	2	0,5	70
7	212	1	200	25	140	9	1,5	140
7	213	1	200	25	210	21	3	210
7	214	1	200	25	280	37	5,3	225
7	215	1	200	25	350	58	7,8	225
7	216	1	200	25	420	84	10,2	225

GRUPO 1 (Casos 1, 2, 3, 4, 5). Se generaron 100 profesores y 100 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Para 350 cursos con 100 profesores cada uno con una disponibilidad de 12 horas no es posible hacer la asignación.

Al no haber asignación de profesores tampoco se puede hacer la de aulas, ya que ésta requiere que los cursos tengan un profesor asignado.

Este grupo nos muestra que conservando constante el número de profesores y aulas y variando el de cursos en forma lineal, la duración del proceso de asignación de profesores crece en forma mucho más que lineal, debido al complejo algoritmo de backtracking. Sin embargo la duración del proceso de asignación de aulas lo hace más suavemente y en forma más próxima a la lineal, debido a que este algoritmo es heurístico y realiza una búsqueda menos exhaustiva y menos optimizadora.

GRUPO 2 (Casos 11, 12, 13, 14, 15, 16). Se generaron 200 profesores y 10 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

En la tabla puede observarse que a partir de 140 cursos, aunque si es posible encontrarle profesor a todos, ya no es posible la asignación de aulas sino a 80 de ellos

El número de aulas tan pequeño en el segundo grupo se escogió así con el fin de determinar la influencia del hecho de no poder hacer asignación de aula y horario a algunos de los cursos.

Es válida la misma observación del grupo 1 sobre el crecimiento de la duración de los tiempos de asignación de profesores y aulas. Sin embargo aunque la duración de asignación de los profesores también crece en forma más que lineal con el número de cursos, lo hace en forma aproximadamente lineal como función del número de profesores: los tiempos son aproximadamente el doble, y en este grupo el número de profesores es el doble (200) que en los casos del grupo 1 (100).

A diferencia del grupo 1, no en todos los casos se logra asignar aulas a los cursos, ya que el número tan reducido de aulas hace imposible encontrársela. A partir de 140 cursos ya la asignación de aulas es parcial.

GRUPO 3 (Casos 21, 22, 23, 24, 25, 26). Se generaron 200 profesores y 15 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Los resultados de la duración de la asignación de profesores son prácticamente iguales a los del caso 2, lo cual es explicable, porque el número de profesores y cursos es el mismo que en los casos del grupo 2. La diferencia en el número de aulas, 15 en lugar de 10 no es determinante en la asignación de profesores ya que ésta es independiente y anterior a la asignación de aulas.

En el proceso de asignación de aulas se nota un ligero aumento del tiempo ya que al disponerse de un número mayor de aulas la asignación de éstas debe hacerse sobre un conjunto de mayor dimensión y por tanto el tiempo de búsqueda es un poco mayor.

Tampoco en este grupo se logra en todos los casos asignar aulas a los cursos, al igual que en el grupo 2. Sin embargo, como el número de aulas es mayor que en el grupo 2 (25 en lugar de 15) se logra también hacer una mayor asignación, 120 cursos en lugar de 80 del grupo 2 a partir de 140.

GRUPO 4 (Casos 31, 32, 33, 34, 35, 36). Se generaron 200 profesores y 25 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Este grupo es similar al grupo 3 con la única diferencia de que el número de aulas, en todos los casos, es de 25 en lugar de 15.

Los resultados de la duración de la asignación de profesores son prácticamente iguales a los casos 2 y 3, lo cual es explicable, porque el número de profesores y cursos es el mismo. Esto confirma la independencia de los procesos de asignación de aulas y profesores. La diferencia en el número de aulas, 25 en lugar de 15 en el grupo 3 o 10 en el grupo 2 no es tampoco determinante en la asignación de profesores.

En el proceso de asignación de aulas se nota nuevamente un leve aumento respecto a los casos del grupo 3 ya que al disponerse de un número aún mayor de aulas la asignación de estas debe hacerse sobre un conjunto también mayor.

El número de cursos con aula asignada también resulta mayor, pues hasta 210 cursos todos logran asignación de aula y sólo a partir de 280 cursos se logra asignar a 225 cursos.

GRUPO 5 (Casos 41, 42, 43, 44). Se generaron 300 profesores y 100 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Con este grupo se quiso observar el aumento en el tiempo de asignación de profesores, cuando el número de éstos y el de cursos es muy grande: 300 profesores en lugar de 200 y un número de cursos que empieza en 490 en lugar de 70. Es decir, es un grupo de problemas notablemente más grande que los anteriores.

La complejidad de la asignación de profesores se observa inmediatamente en el crecimiento tan severo de los tiempos; éstos empiezan en 332 segundos en lugar de los 5 segundos obtenidos para los grupos 2, 3 y 4.

Todos los grupos logran obtener un aula, ya que se supuso un número grande éstas, pues el objetivo en este grupo era estudiar el comportamiento del algoritmo con un elevado número de profesores y de cursos.

GRUPO 6 (Casos 111, 112, 113, 114, 115, 116). Se generaron 200 profesores y 10 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Este grupo es similar al 2: 200 profesores, 10 aulas y número de cursos que va de 70 a 420 según el caso. Sin embargo se quiso estudiar una complejidad adicional. En todos los casos anteriores cualquier profesor estaba capacitado para dictar cualquiera de los cursos (caso bastante irreal, ya que no hay tantos sabios). Aquí se utilizó un algoritmo que asignara a cada profesor la capacidad de dictar sólo la mitad de los cursos (también bastante sabios, pero no tanto como en los casos anteriores).

El tiempo de asignación de profesores en este grupo (compararlos en la tabla para todos los casos de los grupos 2 y 6) resulta ser aproximadamente la mitad que en el grupo 2, lo que nos indica que el tiempo de asignación de los profesores a los cursos crece en forma lineal con el número promedio de cursos que está en capacidad de dictar cada profesor. Esto es explicable porque el conjunto donde se buscan los profesores capacitados para dictar un curso es mayor, y esta búsqueda debe realizarse tantas veces cuantos cursos contenga el caso.

El número de casos con aula asignada resulta un poco mayor que en el grupo 2: 90 en vez de 80 cursos a partir de 140, pero los tiempos de asignación de aulas resultan muy similares. Esto confirma, como se ha venido observando en todos los grupos, que el proceso crítico es el de asignación de profesores y no el de aulas.

GRUPO 7 (Casos 211, 212, 213, 214, 215, 216). Se generaron 200 profesores y 25 aulas, variando según cada caso el número de cursos.

Este grupo es similar al 6. La única diferencia está en que el número de aulas disponibles es de 25 en lugar de 10, pero conservando el número de profesores (200) y el número de cursos en cada uno de los 6 casos.

Los tiempos de asignación de profesores son muy similares a los del caso 6, ya que como se había mencionado anteriormente, este algoritmo es independiente del número de aulas.

Al disponerse de más aulas, se logra asignar éstas a un número mayor de cursos. Por ej. para el caso 216 se hace asignación de aulas a 225 de los 420 cursos, en tanto que para el caso 116 (del grupo 6) sólo se logra asignar aula sólo a 90 de los mismo 420 cursos.

Los tiempos de asignación de aulas son mayores que en el grupo 6, ya que el conjunto donde se realiza la búsqueda de éstas es también mayor: 25 en lugar de 10.

Los resultados obtenidos nos muestran la diferencia de enfoque en los dos problemas: profesores y aulas.

El problema de asignación de profesores utiliza un enfoque de backtracking, por lo que se observa un crecimiento muy alto en su tiempo de ejecución en los diferentes grupos.

Como es sabido para el caso general (GENERATE AND TEST) donde se chequean todas las alternativas posibles el grado de dificultad es $O(m^n)$ (m elevado a la potencia n), donde m es el dominio de las variables, que en este caso sería el promedio de profesores que está en capacidad de dictar un curso particular, y n es el número de variables, que en este caso es el número de cursos.

Bien sabido es que al utilizar la técnica STANDARD BACKTRACKING el grado de dificultad disminuye, ya que el backtracking permite la eliminación de algunas de las posibles soluciones que satisfacen los dominios, pero que violan las restricciones (poda del árbol).

Una evaluación del nivel de dificultad depende del problema particular, pero si se resaltan dos hechos:

- 1- $O(m^{**}n)$ sirve de cota superior en la evaluación del grado de dificultad, a pesar de la poda.
- 2- $O(m^{**}n)$ definitivamente no es lineal y crece muy rápido ante el aumento tanto de m como de n .

Como n es fijo, el STANDARD BACKTRACKING reduce m , al eliminar algunos profesores como posible solución a algunos de los cursos.

Sin embargo a pesar de la poda se observa un crecimiento muy alto de este tiempo en la medida en que se aumenta el número de cursos.

Aquí cabe el siguiente comentario.

La asignación de profesores está planteada para hacerla en cada departamento, por lo que creemos que los ensayos realizados con 100, 200 y el grupo 5 extremo de 300 profesores corresponden a la realidad, y antes por el contrario serían departamentos en la práctica grandes para nuestras universidades. Ello no quiere decir que si el problema se resuelve para toda la institución (universidad, empresa, etc.) no se pueda, pero acorde con la teoría el problema tomaría un tiempo muy alto de ejecución.

En el caso de la asignación de aulas el comportamiento es muy diferente ya que no se utiliza la técnica de backtracking, sino que se hace el mayor número posible de asignaciones, manteniendo ciertas restricciones, que fueron explicadas más arriba, mediante la aplicación de reglas de dispatching.

El proceso recorre seis veces el archivo (para cursos que no son laboratorios, tal como se hizo en las pruebas).

Este proceso es secuencial, pero de todos modos se reduce a recorrer seis veces un archivo (recuérdese que toda la información para chequeo de restricciones se logró mantener en memoria principal por medio de vectores).

Esta forma de proceso hace suponer un comportamiento más aproximado a un modelo lineal, tal como de hecho se puede observar en los diferentes ensayos, entendiéndose que el modelo lineal no pasa por el origen, ya que existe un tiempo fijo que es la carga de los programas en memoria. Además, el nivel de paginación entre la memoria auxiliar (disco) y la memoria principal es mayor en la medida en que el archivo es mayor (el número de cursos es mayor), lo que hace que el modelo no sea perfectamente lineal.

De los ejemplos tomados puede observarse que cuando el número de aulas y sus horarios disponibles es grande siempre se logra encontrar aula, en cambio en los casos en que el número de aulas es muy reducido no se logra hacer la asignación de aula a todos los cursos, pero lo que si se puede observar es que el modelo es poco sensible al hecho de que a los cursos se les logre hacer asignación o no. El hecho de que sea un poco mayor el tiempo cuando disminuye el número de aulas, puede deberse a que precisamente al no ser posible hacer la asignación a algunos cursos, esta situación origina un mayor consumo de CPU para estos cursos tratando de encontrarles un aula.

4.4 CALIDAD DE LA SOLUCIÓN

Debe recordarse que los procesos de asignación de profesores y de aulas son independientes y que se hacen en ese orden. Es decir primero se hace la asignación de profesores y en segundo término la de aulas, y que esta última está sujeta a que se le haya encontrado solución a la asignación de profesores.

Sin embargo los resultados deben ser consistentes ya que como elementos auxiliares de las soluciones se emiten los horarios de los profesores y de las aulas con la asignación a cada uno de ellos de los cursos.

Así por ej. a continuación aparece la programación del aula 001 correspondiente a uno de los casos, tomada del informe de ocupación de aulas (Punto 5 del menú de consultas e informes) donde la ejecución se realizó teniendo como válidas las siguientes ocho sesiones:

LUMI0810 (LUNES MIERCOLES DE 8:00 A 10:00)

LUMI1012 (LUNES MIERCOLES DE 10:00 A 12:00)

LUMI1416 (LUNES MIERCOLES DE 14:00 A 16:00)

LUMI1618 (LUNES MIERCOLES DE 16:00 A 18:00)

MAJU0810 (MARTES JUEVES DE 8:00 A 10:00)

MAJU1012 (MARTES JUEVES DE 10:00 A 12:00)

MAJU1416 (MARTES JUEVES DE 14:00 A 16:00)

MAJU1618 (MARTES JUEVES DE 16:00 A 18:00)

(Recuérdese que el código del curso consta de cinco caracteres para la materia y dos consecutivos para el curso. Por ej. S400508 es el curso 08 de la materia S4005

HORA	AULA 001					
	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
6- 7						
7- 8						
8- 9	S405008	S408010	S405008	S408010		
9-10	S405008	S408010	S405008	S408010		
10-11	S406001	S408002	S406001	S408002		
11-12	S406001	S408002	S406001	S408002		
12-13						
13-14						
14-15	S408001	S408007	S408001	S408007		
15-16	S408001	S408007	S408001	S408007		
16-17	S408008	S408006	S408008	S408006		
17-18	S408008	S408006	S408008	S408006		
18-19						
19-20						

Puede observarse como esta aula quedó programada a capacidad total de acuerdo con las ocho sesiones ofrecidas y por tanto no hubo programación de cursos en horas tales como 6:00 a 8:00, 12:00 a 14:00 ni 18:00 a 20:00.

En la programación de aulas no se tiene como objetivo el balance de horas, ya que es indiferente que un aula quede a capacidad total en tanto que otra quede sin horas programadas (las aulas no se cansan).

A continuación aparece en un esquema similar la programación de uno de los profesores:

PROFESOR 001

HORA	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
6- 7						
7- 8						
8- 9	S403001		S403001			
9-10	S403001		S403001			
10-11						
11-12						
12-13						
13-14						
14-15						
15-16						
16-17						
17-18						
18-19						
19-20						

Este profesor tiene una asignación de solamente un curso en el módulo LUMI0810, que es consistente también con las ocho sesiones ofrecidas descritas anteriormente, es decir tampoco aparece programación de cursos en horas tales como 6:00 a 8:00, 12:00 a 14:00 ni 18:00 a 20:00

Existen otros dos tipos de restricciones que deben cumplir los profesores que son:

1- Asignación de cursos para los que esté capacitado, lo cual se describe en el punto 11 del menú de mantenimiento de archivos maestros: MATERIAS POR PROFESOR.

2- Asignación de cursos acordes con la dedicación del profesor, la cual se describe en el punto 6 del menú de mantenimiento de archivos maestros: DEDICACIONES.

Aunque aquí no se muestran este par de archivos, si se puede constatar que este tipo de restricciones siempre se mantiene. Si alguna de estas restricciones no se pudiera satisfacer el algoritmo emite el mensaje 'NO HAY SOLUCIÓN' ya que ambas son de obligatorio cumplimiento, a un profesor no se le puede asignar una materia para la cual no está capacitado, ni en un horario que esté por fuera de su dedicación.

Para apreciar la calidad de la solución se muestran dos informes en el anexo 2 extractados de los acumulados de los primeros 11 casos ejecutados (Se toman 11 y no los 39 casos por brevedad) para 200 profesores. (Ver los informes completos en el anexo 2)

Una breve explicación de los informes así como su diseño aparecen a continuación:

INFORME DE HORAS SEMANALES PROGRAMADAS A LOS PROFESORES

profes	caso01	caso02	caso03	caso04	caso05	caso06	caso07	caso08	caso09	caso10	caso11
1	4	8	12	12	4	4	4	0	0	4	4
2	4	8	12	12	4	4	4	0	4	4	4
3	4	8	12	12	4	4	0	0	4	0	4

INFORME DE HORAS SEMANALES PROGRAMADAS A LAS AULAS

aula	caso01	caso02	caso03	caso04	caso05	caso06	caso07	caso08	caso09	caso10	caso11
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
2	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
3	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

En el primer informe aparece para cada profesor el número de horas semanales asignadas a ese profesor (cada caso es una columna).

Así por ejemplo el caso 03 se ejecuta con 100 profesores y 210 cursos. A todos los cursos se les logra asignar aula (hay suficientes). Puede observarse que a los primeros 10 profesores se les asignan 12 horas semanales (3 cursos) y a los restantes 90 (del profesor 011 al 100) se les asignan 8 horas semanales, lo que muestra un balance óptimo: ninguno de los profesores aparece con menos de 8 horas ni con más de 12 horas semanales, aunque también existe otra restricción de máximo número de horas por semana por profesor que es de 12:00 (que podría cambiarse) y que es la que lleva a esta solución particular.

Un caso un poco más complejo es el caso 7 con 200 profesores y 210 cursos, pero con solamente 10 aulas.

Para este caso se hace la asignación de profesor a los 210 cursos, pero el aula es suficiente solo para 80 cursos. Por eso mirando la columna de este caso se aprecia que hay profesores con 0, 4 y hasta 8 horas semanales. En realidad la solución está balanceada y los que aparecen con 0 horas, es porque no lograron aula, y se asume por tanto que el curso no se puede dictar y por tanto el profesor queda disponible.

En el segundo informe se muestra para cada aula el número de horas semanales asignadas a esa aula (cada caso es una columna).

Así por ejemplo el caso 03 se ejecuta con 100 aulas y 210 cursos. Puede observarse que a las primeras 21 aulas se les asignan 32 horas semanales (8 cursos), a las aulas de la 22 a la 28 se les asignan 24 horas semanales (6 cursos), en tanto que las aulas de la 29 a la 100 quedan totalmente libres.

Para el caso 07, del que ya se dijo que era más complejo, dado el número tan reducido de aulas (10 en lugar de 100) no todos los cursos logran aula (solamente 80 de los 210 cursos) y se aprecia que las 320 horas (80 cursos de 4 horas) se asignan a 10 aulas (con 32 horas cada una).

Ver el anexo 2 para apreciar la totalidad de profesores y de aulas para cada caso.

Al final de cada uno de los informes se aprecia el total de horas (por profesor y por aulas) donde puede apreciarse la consistencia de los dos listados. (Comparar la última columna de cada uno de los listados)

OBSERVACIÓN FINAL: los dos procesos de asignación de aulas y profesores cuentan con numerosas soluciones de las cuales se puede decir que son óptimas; basta por ej. intercambiar el aula de dos cursos, para obtener dos soluciones diferentes, ambas de la misma calidad (dado que se respete la capacidad de las aulas); igual sucede con la asignación de los profesores; así, basta con intercambiar dos cursos de la misma materia dictados por profesores diferentes para obtener también dos soluciones diferentes.

Sin embargo el proceso de backtracking utilizado en la asignación de profesores recorre teóricamente todo el espacio de soluciones, por lo que se puede decir que la solución encontrada es óptima, ya que logra asignarle profesor a todos los cursos, además de que en el proceso de asignación se tienen en cuenta las preferencias de los profesores, pues en el archivo de capacidad de los profesores no solamente se definen las materias que está en capacidad de dictar cada profesor sino también un nivel de prioridad que le permite escoger el orden de preferencia de las materias al profesor. Esta restricción de preferencia no es de obligatorio cumplimiento, por lo que a un profesor puede asignársele una materia para la que está capacitado, pero que no es la que más le agrada, con tal de encontrarle profesor a todos los cursos.

En el proceso de asignación de aulas el nivel de optimización es menor ya que la solución se va estructurando paso a paso, teniendo en cuenta en cada paso la mejor asignación, aunque sin tener una visión de conjunto.

5- CONCLUSIONES

Se ha hecho una enumeración de las técnicas de investigación operativa y de inteligencia artificial en la solución de problemas de scheduling, como caso particular de los problemas más generales de satisfacción de restricciones.

De todas estas técnicas se han seleccionado dos para aplicarlas a dos problemas específicos.

- 1- La asignación de profesores a los cursos programados en una universidad o empresa
- 2- La asignación de aulas y horarios a los cursos programados en una universidad o empresa.

Para el primer caso se optó por la técnica de STANDARD BACKTRACKING que es un híbrido entre lo analítico y lo heurístico.

Para el segundo caso se optó por una técnica totalmente heurística.

En los dos casos según las pruebas se obtuvieron resultados buenos, aunque el primer caso, como todo lo analítico posee la desventaja de la ineficiencia computacional del algoritmo, especialmente cuando el tamaño del problema aumenta.

Una conclusión importante es el hecho de que a pesar de la formalización matemática de los problemas de scheduling, las técnicas heurísticas siempre tienen el camino abierto, dada la complejidad de las soluciones matemáticas.

En la selección de una técnica siempre juegan un papel importante la experiencia del analista, el tamaño del problema y el tipo de scheduling.

Otra importante conclusión es que la técnica de STANDARD BACKTRACKING parece ajustarse bien a los requerimientos reales de las instituciones planteadas, y que aunque el campo está abierto para utilizar las técnicas FC (FORWARD CHECKING) y LA (LOOKING AHEAD), creemos que no se justifica el mayor esfuerzo de programación en el caso de la asignación de profesores a cursos y que la mejora en tiempo no sería notable, dado que estos métodos incrementan el tiempo de detección de soluciones en los nodos.

Esta observación es válida puesto que el problema de asignación de profesores es un problema relativamente simple dentro de los problemas más complejos que pueden surgir en el campo del scheduling, y quizá las dos técnicas de FC (FORWARD CHECKING) y LA (LOOKING AHEAD) pudieran ser de mayor utilidad en problemas más complejos.

Sin embargo el campo queda abierto para continuar la investigación utilizando las técnicas FC y LA, especialmente a problemas más complejos, así como técnicas totalmente heurísticas, tales como las que se utilizan en los procesos de planeación de la producción.

6- BIBLIOGRAFÍA

Baker. K. (1976). "Introduction to Sequencing and Scheduling"

Barber F. (1994), "Scheduling en Inteligencia Artificial Universidad Politécnica de Valencia"

Beck H. y otros. "A Domain Description Language for Job Shop Scheduling. (Work as part of the TOSCA project with the support of Hitachi Limited.)"

Demeulemeester E. and Herroelen W. (1992), "A Branch-And-Bound Procedure for the Multiple Resource Constrained Project Scheduling Problem. Management Science"

Demeulemeester E. and Herroelen W. (1997), "New Benchmark Results for the Resource Constrained Project Scheduling Problem. Management Science.

Domínguez Machuca J. y otros autores, "DIRECCION DE OPERACIONES. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios"

Fisher ML. (1981), "The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. Management Science"

Ibáñez F. (1994) "Integración de restricciones temporales, métricas y simbólicas en el marco CLP. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia"

Kolisch R. and Sprecher Arno (1996), "PSPLIB – A project scheduling problem Library"

Mingozzi A, Maniezzo V, Ricciardelli S and Bianco L. (1995) "An Exact Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Problem Based on a New Mathematical Formulation"

Mukherjee A. and Gilbert K (1997), "Lagrangian heuristics for instructor scheduling in executive development programmes"

Murty K. (1976), "Linear and combinatorial Programming"

Nemhauser G. L., Trotter L.E. (1975), "Vertex Packings: Structural Properties and Algorithms"

Noronha S. and Sarma V. (1991), "Knowledge Based Approaches for Scheduling Problems: A SURVEY"

Pardalos P.M., Xue J. (1992), "The maximum clique problem"

Prosser P. "Scheduling as a Constraint Satisfaction Problems: Theory and Practice"

Schwindt C. (1998) "Generation of Resource-Constrained Project Scheduling Problems Subject to Temporal Constraints"

ANEXO 1

ANEXO 1

INDICE DE MATERIAS

	Página
CAPITULO 1 - INTRODUCCION	2
CAPITULO 2 - ARCHIVOS MAESTROS	
OBSERVACIONES DE TIPO GENERAL PARA EL USUARIO	3
DIAGRAMA ENTIDAD-RELACION	5
CONTROL	6
CARRERAS	7
MATERIAS	8
AULAS	9
PROFESORES	11
DEDICACIONES	12
HORARIOS POR SESION	13
EXCEPCIONES A DEDICACION	15
ZONAS	16
DEPARTAMENTOS	17
MATERIAS POR PROFESOR	18
ASIGNACION HORARIOS, AULAS Y PROF.	19
DEMANDA DE MATERIAS POR CARRERA	21
SESIONES	22
CAPITULO 3 - EVENTOS	
PASOS EN LA ASIGNACION DE HORARIOS, AULAS Y PROF.	23
CALCULAR CANT. CURSOS POR MAT.(D.A)	24
COPIAR ARCHIVOS A DISQUETE (D.A)	26
COPIAR ARCHIVOS DE DISQUETE (D.A)	27
COPIAR ARCHIVOS DE DISQUETE (DPTO)	28
COPIAR ARCHIVOS A DISQUETE (DPTO)	29
CREAR MANUAL EN MANAUL.TXT	30
ASIGNAR PROFESORES A CURSOS (DPTOS.)	31
ASIGNAR HORARIOS Y AULAS (TOTAL D.A)	32
ASIGNAR HORARIO-AULA A UN CURSO(D.A)	36
CAPITULO 4 - CONSULTAS E INFORMES	
CONSULTA ASIGNACION HORARIOS Y AULAS	41
INFORME PARA ASIGNACION EN DEPTOS	44
INFORME DE ASIGNACION	45
INFORME DE OCUPACION DE AULAS	46
INFORME DE HORARIOS DE PROFESORES	47
CAPITULO 5 - INTELIGENCIA ARTIFICIAL	
LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA SOLUCION DE ASGINACION DE PROFESOREAS, AULAS Y HORARIOS A CURSOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL	48
EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE PROF. A CURSOS EN IA	50
COMENTARIOS SOBRE EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE PROFESORES A CURSOS	54
EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE AULAS Y HORARIOS	56