

*Títol: Disseny i implementació d'un sistema  
per a l'automatització dels horaris  
de la Diplomatura*

*Autores: Mariona Baqués Ibars  
Júlia Viladomat Comerma*

*Directora: Elena Fernández*

*Als pares, al David,  
i sobretot a l'Indi...*

## ÍNDIX

<b>INTRODUCCIÓ</b> .....	1
<b>1 - DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 - Característiques del pla d'estudis .....	3
1.2 - Característiques específiques del centre .....	3
1.3 - Restriccions de recursos existents .....	4
1.3.1 - Aules de laboratori .....	4
1.3.2 - Hores b .....	4
1.3.3 - Optatives de tercer .....	5
1.4 - Paràmetres a decidir per part del professor .....	5
1.5 - Plantejament del problema .....	6
1.6 - Enfocament del problema .....	7
<b>2 - MODELITZACIÓ</b> .....	9
2.1 - Hipòtesis .....	9
2.2 - Assignació d'assignatures a dies .....	10
2.2.1 - Model per a tercer .....	11
2.2.2 - Model per a primer i segon .....	12
2.3 - Filtre .....	13
2.4 - Assignació d'assignatures a hores .....	15
<b>3 - SOLUCIONS (HEURÍSTIQUES)</b> .....	19
3.1 - Assignació d'assignatures a dies .....	19
3.1.1 - Heurística assignació d'assignatures a dies .....	20
3.1.1.1 - Procediment de l'heurística .....	21
3.1.1.2 - Esquema de l'heurística utilitzada .....	23
3.1.2 - Heurística d'ajustar hores .....	24
3.1.2.1 - Procediment de l'heurística .....	24
3.1.2.2 - Esquema de l'heurística utilitzada .....	25
3.1.3 - Heurística de millora .....	27
3.1.3.1 - Procediment de l'heurística (esquema) .....	28
3.2 - Filtre .....	29
3.2.1 - Procediment de l'heurística .....	29
3.2.2 - Esquema de l'heurística utilitzada .....	30
3.3 - Assignació d'assignatures a hores .....	31
3.3.1 - Procediment de l'heurística .....	32
3.3.2 - Esquema de l'heurística utilitzada .....	35
<b>4 - DESCRIPCIÓ DE L'APLICACIÓ INTERACTIVA</b> .....	37
4.1 - Guia de l'usuari .....	37

<b>5 - JOCS DE PROVES</b> .....	45
5.1 - Horari resultant .....	47
5.1.1 - Primer curs .....	47
5.1.2 - Segon curs .....	48
5.1.3 - Tercer curs .....	49
5.2 - Modificacions .....	50
5.2.1 Primer canvi .....	50
5.2.2 Segon canvi .....	52
<b>CONCLUSIONS</b> .....	54
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	56

## **INTRODUCCIÓ**

Al llarg dels anys, en iniciar un nou curs acadèmic, ens solem trobar sempre amb el problema d'haver de configurar els horaris pel curs vinent, qualsevol universitat, escola o institut, ha d'ocupar-se, en més o menys grau, d'aquest etern problema: realitzar l'horari del curs d'acord amb una sèrie de preferències, requeriments i restriccions. Són moltes les variables a tenir en compte, moltes les restriccions a respectar, la qual cosa provoca que aquest procés sigui en molts casos veritablement complicat, amb tot l'esforç i inversió de temps que això implica.

Aquestes consideracions ens han portat a plantejar-nos el fet de poder automatitzar aquest procés d'elaboració d'horaris de manera que puguem ajudar a reduir les complicacions que any rere any es presenten irremissiblement. En particular es pretén aplicar-ho a la Diplomatura d'Estadística. És a dir, dissenyar i implementar un sistema per a automatitzar el procés d'elaboració d'horaris per a la Diplomatura. La idea és mantenir la filosofia actual de la Diplomatura creant un horari que tingui en compte tots els elements que la caracteritzen; el pla d'estudis, els recursos dels quals es disposa, les particularitats que l'envolten... però dotant el sistema d'una gran flexibilitat i donant especial importància a aconseguir un elevat grau d'interacció amb l'usuari.

Destacarem la rellevància que té el pla d'estudis en l'assignació que durem a terme. Realitzarem aquesta assignació d'acord amb el pla d'estudis que regeix la Diplomatura d'Estadística, on ja estan definides quines són les assignatures i el nombre de crèdits de cada una d'elles. Estem parlant, per tant, d'unes restriccions a priori pel que fa al nombre d'hores de l'assignatura.

No es tracta tant sols de que el sistema trobi una solució factible, que ja de per si és un fet complicat degut a la limitació de recursos, sinó que volem anar més enllà i escollir d'entre les possibles solucions aquelles que impliquin un major grau de satisfacció. Optimitzar els resultats. Es tracta de construir l'horari "a la carta". Aconseguir un horari que s'adeqüi a les necessitats, prioritats, limitacions i preferències dels professors. Aquests ens proporcionaran unes penalitzacions en funció de les seves disponibilitats. D'aquesta manera disposarem dels resultats òptims particulars per cada professor. El nostre objectiu és aconseguir traduir els resultats particulars de cada professor en un resultat global òptim, on es reflecteixi tant bé com sigui possible la informació que obtenim dels professors.

D'altra banda, no podem oblidar-nos de les importants limitacions actuals de disponibilitat d'aules de laboratoris, i la dificultat que aquestes limitacions afegiran a la resolució, que ja de per si se'ns presenta de manera complexa per la gran quantitat de variables i restriccions que hi formaran part.

En definitiva doncs, s'intenta que el resultat gaudeixi de tots els beneficis que l'execució no automatitzada tenia, on era fàcil tenir en compte casos concrets i es podia particularitzar molt, afegint-hi l'evident comoditat que el sistema aporta, i l'estalvi de tot el temps que es dedicava a aconseguir que l'horari quadrés tal com es volia.

### ***Flexibilitat i interacció:***

Aquesta flexibilitat que tindrà el nostre sistema es caracteritza en tant que es deixa al professor que decideixi, en funció d'una sèrie de paràmetres, la planificació de

la seva assignatura. El professor escollirà factors relatius a la distribució dels crèdits de teoria i pràctiques; com ara el nombre de classes amb que voldrà repartir les hores que li pertocuen per setmana, la durada d'aquestes i el tipus d'aula on tindrà lloc la classe.

Un cop decidits aquests paràmetres, i en funció de l'horari resultant, es podran fer modificacions d'aquest si és que hi ha una part concreta que no és satisfactòria. Existirà un *feed back*, de manera que l'usuari pugui modificar dades d'entrada concretes perquè les solucions variïn en la direcció desitjada.

Tots aquests factors col·laboren a augmentar aquesta flexibilitat que busquem i aporten un grau d'interactivitat notori amb l'usuari.

### **Tècniques a utilitzar:**

Aquest projecte ha estat concebut des del departament d'Investigació Operativa i enfocat a l'assignatura d'Aplicacions a la Programació Lineal. Els models matemàtics que construirem són models lineals. A la pràctica, i degut al gran nombre d'aspectes a tenir en compte, s'ha cregut convenient no aplicar mètodes exactes per a la resolució d'aquest problema, sinó crear mètodes de resolució aproximats on es puguin adaptar amb més facilitat les dificultats i característiques dels models que plantejarem. Mitjançant la utilització d'**heurístiques** obtindrem solucions factibles que ens proporcionaran sinó la solució òptima, si una bona solució al problema en un temps reduït.

D'altra banda, com que la bibliografia utilitzada és de caràcter general tant pel que fa als models com a les tècniques específiques, no en farem referència al llarg de la memòria, únicament especificarem quins han estat els llibres consultats.

A continuació descriurem el problema a resoldre al complet, definirem els models matemàtics que necessitem i veurem com seran les heurístiques específiques per les diferents parts del problema. D'altra banda adjuntarem algunes experiències per tal d'apreciar quins són els resultats que obtenim i com varien en funció d'alguns canvis. El resultat final quedarà recollit en una aplicació interactiva que es podrà usar de manera còmoda per l'usuari.

## **1. DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA:**

A continuació establirem les bases del problema que tenim entre mans; descriurem l'entorn on s'ubica el problema, les característiques més importants, i la manera com aquest es plantejarà i s'enfocarà.

### **1.1. CARACTERÍSTIQUES DEL PLA D'ESTUDIS**

D'entrada definirem algunes característiques del nostre pla d'estudis, com es defineix i quines són les situacions que s'han de tenir en compte:

- El pla d'estudis de la carrera d'Estadística consta de tres cursos repartits en sis trimestres, dos per cada any.
- Cada trimestre es realitza el procés de matriculació. És per això que es tractarà com a paquet de dades aquelles referents a un trimestre, i no a un any acadèmic, donat que en el pla d'estudis les assignatures estan assignades a trimestres.
- Les assignatures de primer i segon curs són totes obligatòries, a tercer, en canvi, la totalitat de les assignatures que s'han de fer són optatives i de lliure elecció.
- Per cada assignatura es defineix el nombre de crèdits teòrics i pràctics.

### **1.2. CARACTERÍSTIQUES ESPECÍFIQUES DEL CENTRE**

Pel que fa a la nostra facultat, aquestes són algunes de les particularitats més destacades:

- Els tres cursos es donen simultàniament en un horari de tarda i en un interval de cinc hores; en alguns dies s'allarga l'interval mitja hora.
- Tots els alumnes que es matriculen a primer formen part d'un únic grup, que té un màxim de 50 persones. Aquest tamany no fa necessària la divisió de les assignatures en grups diferents.
- La durada de les classes és d'1 hora, de 2 hores, o d'1,5 hores en algunes ocasions.
- En els tres cursos hi ha la opció de fer certes hores de l'assignatura en una classe equipada amb ordinadors.
- Algunes assignatures de primer i segon fan les hores de pràctiques o de problemes amb la meitat dels alumnes de la classe per tal que aquesta reducció ajudi a una major comprensió de la matèria. D'aquest tipus de classes en direm hores b.
- Les assignatures de tercer s'agrupen en blocs temàtics o d'especialització, de manera que l'alumne té una orientació a l'hora d'escollir quines seran les assignatures que farà. Cal destacar un bloc comú on s'engloben aquelles assignatures que es recomana de fer independentment de l'especialització que interessi.

### **1.3. RESTRICCIONS DE RECURSOS EXISTENTS**

Un cop anomenades totes les característiques parlarem de la ubicació on la Diplomatura es realitza, l'entorn que tenim i per tant les restriccions de temps i d'espai que això comporta. També aprofundirem sobre alguns dels temes enumerats anteriorment, com poden ser les hores b o les optatives de tercer.

#### ***El concepte de mòdul:***

Abans però, cal remarcar un concepte que utilitzarem a partir d'ara. El concepte de mòdul; anomenarem mòdul a cada una de les classes amb què una assignatura es parteix al llarg de la setmana. L'assignació es farà a partir d'aquests mòduls que seran la unitat mínima d'assignació.

#### **1.3.1. AULES DE LABORATORI**

Com hem dit, hi ha la possibilitat de fer la classe en unes aules equipades amb ordinadors, que anomenarem aules de laboratori. L'ús d'aquestes aules és molt comú degut al caire pràctic que pren aquesta Diplomatura i és compartida pels tres cursos.

Podem disposar exactament de dues aules amb aquestes característiques. Però cal destacar que una de les dues aules té una capacitat inferior a l'altra, i mentre aquesta es considera vàlida per albergar qualsevol grup d'alumnes que es pugui formar en qualsevol dels tres cursos de la Diplomatura, la primera és una aula indicada sobretot per impartir les classes d'hora b, o per algunes assignatures optatives de tercer on l'afluència no és molt densa. Concretament, la capacitat de l'aula gran és d'unes 70 places, mentre que l'aula petita es considera que pot acollir unes 40 persones.

Tenint en compte que aquestes dues aules són utilitzades pels tres cursos simultàniament, ens trobem davant de la restricció més important que presenta el sistema, degut a que hem d'evitar que en el mateix interval de temps coincideixin els tres cursos amb mòduls que es donin en aquest tipus d'aules.

#### **1.3.2. HORES B**

Seguint la filosofia de la Diplomatura, es permet a certes assignatures de primer i segon poder realitzar els crèdits de pràctiques amb la meitat dels alumnes.

Per aquest tipus de classes (hores b), haurem de doblar el nombre de mòduls que haurà d'impartir un professor de manera que el total de l'alumnat rebi les hores lectives que pertanyen a aquella assignatura. Tots els mòduls que tenen aquesta característica es faran simultàniament amb un altre mòdul de les mateixes característiques. És a dir, per aquest cas concret, en un mateix interval de temps, i pel mateix curs, es realitzaran dues classes a la vegada. A efectes de l'alumne no variarà la seva distribució setmanal. Ell seguirà fent les mateixes hores però algunes d'aquestes seran amb un grup més reduït. El que es persegueix alhora de fer coincidir dos mòduls d'aquestes característiques és no allargar l'horari més enllà del plaç que havíem marcat, que totes les assignatures es concentrin dins de l'interval de cinc hores per dia que tenim. Si no fos així, no hi hauria problema en fer aquests mòduls de



manera individual, llavors només caldria allargar la franja horària a 6 o 7 hores. Però creiem que és important mantenir l'interval de cinc hores diàries i fer coincidir aquests mòduls concrets, tal i com s'ha estat fent fins ara.

Aquesta possibilitat augmenta la complexitat del problema en tant que s'haurà de controlar l'assignació de manera que quan es donin mòduls d'aquest tipus siguin simultàniament amb d'altres iguals i apareguin dues vegades al nostre horari final. A l'hora de detallar el funcionament de les assignacions (heurístiques) explicarem quina serà la manera de resoldre aquest aspecte.

### **1.3.3. OPTATIVES DE TERCER**

Una altra característica del sistema dissenyat es troba en les assignatures de tercer curs, totes elles són optatives i queden recollides en diferents blocs temàtics o especialitats. El fet de cursar més assignatures no permet que totes puguin encabir-se en l'interval de 5 hores de què parlàvem, en conseqüència, és necessari que algunes de les assignatures es donin simultàniament.

D'altra banda, per tal de que un alumne que estigui interessat en les assignatures d'un bloc temàtic concret pugui assistir a totes les classes del bloc creiem que és oportú que dues assignatures d'una mateixa especialització no es donin mai al mateix temps. També es tractaran com a assignatures d'especial interès aquelles que estan considerades com a bloc comú i que s'aconsella a tots els alumnes que les cursin.

Aquestes dues consideracions es tindran en compte en el procés d'assignació de les assignatures de tercer. Si bé ha d'existir certa simultaneïtat entre les assignatures, es farà de manera que les assignatures d'un mateix bloc no es donin al mateix temps i les que pertanyen al bloc comú no siguin cursades simultàniament amb cap altra per permetre així l'assistència de la totalitat de l'alumnat.

### **1.4. PARÀMETRES A DECIDIR PER PART DEL PROFESSOR**

La flexibilitat que caracteritza el sistema dissenyat ve marcada pel fet que es deixa un marge prou ampli al professor perquè, en funció del nombre de crèdits pràctics i teòrics de l'assignatura, sigui ell qui la planifiqui. El mateix professor decidirà el repartiment que es farà de l'assignatura al llarg de la setmana, la seva distribució. És a dir, serà competència seva la decisió dels següents aspectes:

- El nombre de mòduls de l'assignatura a realitzar durant la setmana. Les assignatures podran tenir entre 2, 3 o 4 mòduls.

- La durada de cada mòdul:

Per cada un dels mòduls de la seva assignatura, permetrem al professor escollir entre tres durades diferents: 1 hora, 1,5 hores o 2 hores. Cal tenir en compte que la suma de les durades dels diferents mòduls amb que es repartirà l'assignatura ha de ser equivalent al **nombre de crèdits** d'aquella assignatura per setmana.

- L'aula on s'impartirà la classe per cada mòdul de l'assignatura, podent escollir entre l'aula convencional o l'aula equipada amb ordinadors si s'escau.

- Cal destacar també que un mateix professor pot cursar en un mateix quadrimestre varies assignatures, algunes que pertanyen a d'altres centres. Pel que fa

a la Diplomatura, és possible que cursi assignatures de diferents cursos. Per tant, també tenim restriccions per part del professorat: s'ha de preveure que un mateix professor no doni simultàniament assignatures de dos cursos diferents.

### **1.5. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA**

Un cop vist el funcionament de la nostra Diplomatura, les restriccions més importants que tenim a l'hora de construir els horaris i aquells paràmetres que defineixen la nostra assignació ja podem assenyalar que tractarem el problema en dues fases diferenciades degut a la complexitat d'aquest i per tal de facilitar-ne la resolució.

Plantegem el problema, quins són els objectius d'aquest i com enfocar-lo en funció de tots els aspectes que hem de considerar.

D'entrada sabem que per cada assignatura s'han d'assignar diferents classes a la setmana, en consonància amb el nombre de crèdits que tingui. Com ja hem vist, una assignatura es divideix en diferents mòduls. El que cal fer, doncs, és assignar aquests mòduls entre els diferents dies de la setmana i les diferents hores de cada dia. Hi ha dos factors a decidir, quin serà el dia que es cursarà aquest mòdul i quin ordre ocuparà en aquest dia.

Cal recordar que l'objectiu del problema en sí no és tan sols trobar una solució factible, sinó que es tracta de trobar, per tots els resultats possibles, aquell amb el qual aconseguim una optimització global de les preferències dels professors. La intenció és que aquests ens proporcionin unes penalitzacions (o costos) que mostrin les seves necessitats.

És per això que hem cregut convenient que ens informin de dos aspectes diferenciats:

- Els dies de la setmana:

Cada professor, degut a les interaccions existents amb altres centres i/o altres activitats té una sèrie de limitacions i necessitats que marquen el repartiment de la seva assignatura al llarg de la setmana.

D'aquesta manera, cada un d'ells donarà una penalització per cada dia de la setmana, i en funció d'aquestes dades es podrà conèixer la disponibilitat que té un professor de fer classe a cada un dels cinc dies. Com més alta sigui la penalització més pesarà aquell dia a l'hora d'assignar els mòduls del professor en qüestió. (El rang per aquestes penalitzacions serà explicat amb detall més endavant).

- Les hores del dia:

De la mateixa manera que es té en compte el professor en l'assignació dels diferents mòduls de cada assignatura en una setmana, així ha de ser pel que fa a l'ordre en que es faran les assignatures en un dia. Pensem que és interessant conèixer les disponibilitats del personal docent en funció de l'hora en que es farà la classe. Com a exemple il·lustratiu podríem fixar-nos en un cas concret: En algunes assignatures, optatives de tercer, es fa la classe amb un professor que ve d'alguna empresa determinada, on treballa a jornada complerta. Aquest professorat és obvi que necessita poder fer les seves classes a les últimes hores del dia per tal de compaginar ambdues coses.

En principi un dia lectiu té cinc hores de classe (amb algunes excepcions). En funció d'això s'ha optat per formar dues franges horàries per tal de conèixer la disponibilitat del professor en relació a l'hora del dia en què ha de donar la classe. D'aquesta manera, cada professor donarà dues penalitzacions més per cada dia de la setmana, on una serà la penalització de fer els mòduls de la seva assignatura a les primeres hores de la tarda (recordem que la totalitat de la Diplomatura es realitza en horari de tarda) i l'altra serà la corresponent per les últimes hores de la tarda. Per tant, en total disposarem de 10 costos més, dos per cada dia. Creiem que no és necessari demanar un cost per cada hora del dia (en total cinc) perquè a priori no sabem quantes classes hi haurà en un dia. Recordem que es permet als professors fer classes d'una hora i mitja i de dues. Per tant pensem que amb dues penalitzacions per dia, on el professor ja indica quina és la seva tendència, serà suficient.

Amb aquestes penalitzacions ja tenim totes les dades externes necessàries per a procedir a l'assignació.

## **1.6. ENFOCAMENT DEL PROBLEMA**

D'entrada cal destacar que no podem tractar els cursos com a elements independents entre si. Es tracta d'un problema de recursos compartits: si bé hi ha aules convencionals suficients perquè aquestes no s'hagin de compartir, si que tenim problemes de recursos pel que fa a les aules de laboratori ja que només en disposem de dues. Els tres cursos tenen assignatures on es donen alguns mòduls en aquestes aules de laboratori, la qual cosa obliga a fer l'assignació conjunta. No podem assignar cada curs de manera individual perquè ens podem trobar que en un mateix interval de temps tinguem tres assignatures (una de cada curs) que necessitin fer la classe en aules de laboratoris.

Precisament aquesta circumstància és la que incrementa en gran mesura la complexitat del problema a resoldre. Per tant, el fet d'haver de considerar un nombre elevat de constriccions i de disposar de dos tipus de preferències (preferència de dies a impartir l'assignatura i hora d'impartir-la), ens fa plantejar la possibilitat d'una divisió del problema per aconseguir que sigui tractable. D'aquesta manera tindrem dues fases diferenciades, dos problemes diferenciats i de magnituds inferiors a la que el problema inicial ens plantejava. Serà a l'hora d'assignar l'ordre de les assignatures per cada dia quan s'ha de tenir en compte no consumir més recursos dels que disposem, és en aquest moment que cal assignar els tres cursos de manera conjunta.

Primerament portarem a terme l'assignació dels mòduls de les assignatures **per cada un dels dies de la setmana**. Amb l'objectiu de minimitzar els costos que els professors han donat. D'aquesta manera, com que no especificarem encara l'ordre en que seran cursades les assignatures en un dia, podrem tractar els tres cursos de manera independent, aplicant el mateix mètode de resolució per cada curs ja que eliminem periòdicament el lligam que unia els tres cursos: les aules de laboratori.

Un cop resolta aquesta primera fase, tots els mòduls de les assignatures tindran assignats ja un dia concret, però no estarà establert l'ordre de realització de les classes, el qual s'ha de fer tenint en compte aquestes limitacions de les que parlem.

Tot i així, el fet de tractar la primera fase de manera independent, encara que ens serveixi per eliminar la dificultat que comporta el problema dels laboratoris, també ens pot portar a una situació d'infactibilitat. És a dir, per cada dia com a màxim podem

realitzar 10 hores de laboratori (tenint en compte que disposem de 5 hores i hi ha dues aules d'aquest tipus). Si ens trobem amb que en un mateix dia (òbviament realitzant el sumatori pels tres cursos) aquesta suma supera el límit de 10, ja sabem que la situació és infactible. I com a tal, no podem iniciar la segona fase perquè no trobaríem cap solució que ens resolgués aquesta infactibilitat.

Per evitar-ho, un cop resolta la primera fase, comprovarem que la solució obtinguda no ens porta a un cas d'aquest tipus (excés de recursos compartits a priori **per dia**) i en cas afirmatiu sotmetrem a canvis l'actual solució per tal d'assolir la factibilitat necessària en l'inici de la segona fase.

Cal destacar que el concepte de mòdul utilitzat en aquesta segona fase del problema no és exactament el mateix que hem definit anteriorment.

En l'assignació d'assignatures a dies és important tenir en compte a quina assignatura pertany el mòdul en qüestió per evitar assignar en un mateix dia més d'un mòdul de la mateixa assignatura (més endavant veurem que això serà una restricció del problema). En canvi, un cop tinguem els mòduls assignats en un mateix dia ja no necessitem conèixer l'assignatura de cada un d'ells.

Concretament, en aquesta segona fase partirem d'un conjunt format per tots aquells mòduls assignats a un dia i curs determinat i en la primera fase tindrem tants conjunts de mòduls com assignatures (vistos els models es podran apreciar aquestes diferències de manera més clara).

Ressaltarem doncs, que a efectes de vocabulari utilitzarem la paraula "mòdul" per fer referència a ambdós casos entenent que la independència entre aquestes dues fases evitarà tota possible confusió.

Segona fase: Arribats a aquest punt podem garantir que hi ha com a mínim una solució que ens fa possible la realització de les assignatures assignades a un dia concret pels tres cursos (primera fase) mantenint el tipus d'aula que han escollit els professors. Es tracta de jugar amb les posicions fins a trobar aquella que encaixa perfectament. No oblidem però, que es continua mantenint la idea d'optimització i que es tracta d'escollir entre tots els casos factibles aquells que minimitzen les penalitzacions que els professors han donat en relació a l'hora de l'assignatura. Per tant, la segona fase ens proporciona l'ordre dels mòduls de les assignatures per cada dia.

Cal destacar que a la primera fase tractem els tres cursos independentment i de la mateixa manera (amb algunes diferències entre primer-segon i tercer) però pels cinc dies de la setmana a la vegada, i a la segona fase tractem els tres cursos conjuntament però cada dia és independent de l'altre.

Hem parlat d'una comprovació que cal fer un cop finalitzada la primera fase per assegurar-nos que aquesta no és infactible. Bé, anomenarem *filtre* a aquesta part intermèdia del problema. Així doncs, es pot dir que disposem de dues parts diferenciades, amb una tercera que estableix la validesa del lligam entre les dues primeres. Aquest serà el funcionament general de la resolució del nostre problema. Cada part serà explicada detalladament quan descriguem el funcionament de les heurístiques que formen aquest problema.

## **2. MODELITZACIÓ**

En aquesta secció plantejarem un model matemàtic que reculli les particularitats del problema que volem resoldre. Es tracta de formular diferents models matemàtics que recullin tot el que hem explicat en paraules.

Com s'ha exposat anteriorment, hem dividit el problema en dues parts ben diferenciades, i entre una part i l'altra existeix un *filtre* que identificarà si és possible començar la segona fase o si, per contra, s'hauran de fer uns retocs previs a la primera fase abans de poder iniciar aquesta segona.

Per cadascuna d'aquestes tres principals components que formen el problema s'ha formulat un model matemàtic que defineix els objectius i constriccions en cada cas. Però abans de definir-los veurem quines són les hipòtesis que prenem com a certes en la formulació d'aquests models.

### **2.1 HIPÒTESIS**

1.- Les aules per les assignatures de teoria de qualsevol curs, (aquelles que no es donen en classes equipades amb ordinadors) no són limitades, no hi ha problemes de recursos per aquestes aules.

El nombre d'aules convencionals és suficientment gran perquè no haguem de preocupar-nos de la seva distribució entre les diferents assignatures dels tres cursos, és a dir, hi ha tantes aules convencionals com es necessitin. A l'hora de dissenyar el model no haurem d'afegir cap constricció en relació a aquestes aules.

2.- Un professor no donarà assignatures de blocs temàtics diferents (per tercer curs).

Examinant els horaris dels últims anys es pot veure que aquesta és una hipòtesi bastant realista, no s'ha trobat cap cas on un mateix professor hagi donat assignatures de blocs temàtics diferents. Els professors es solen ubicar en un dels blocs temàtics en funció del departament al qual pertanyen.

3.- Les possibles durades a escollir per a cada mòdul són d'una hora, una hora i mitja o dues hores de classe.

El fet d'haver optat per acceptar els mòduls de durada 1'5 hores ha comportat dificultar de manera important el problema, però calia mantenir la filosofia de la Diplomatura i considerar totes aquelles durades de classes que s'han estat donant durant tots aquests anys en que s'ha estat cursant aquesta carrera. Per tant, aquesta és una hipòtesi que s'adequa a les possibilitats que fins ara ha donat la Diplomatura.

4.- Tanmateix, el nombre de mòduls d'una assignatura dedicats a la meitat dels alumnes (les hores  $b$ ) per setmana només pot combinar-se amb un mòdul d'una hora de durada, dos mòduls d'una hora o un mòdul de dues hores.

Tot i no deixar cap més opció de combinació per aquest tipus de mòduls, aquesta decisió ha estat presa amb la prèvia observació de les característiques dels anteriors horaris, i aquests no inclouen cap classe amb la meitat dels alumnes d'una hora i mitja. D'altra banda, tampoc s'ha trobat cap assignatura que hagi fet més de dues hores de classe de pràctiques a la setmana amb la meitat d'alumnes.

5. Tenint en compte que tant a primer i segon com a tercer hi ha certs mòduls d'assignatures que es faran simultàniament amb d'altres, i que el professor de cada un d'ells escollirà el tipus d'aula on es donarà la classe, (aula convencional o laboratori), es pren com a hipòtesi que els mòduls de les assignatures que es donen al mateix temps, **si ambdós requereixen les aules de laboratoris**, es faran, l'un a l'aula de laboratoris que té més capacitat i l'altre a la de menys capacitat.

Si observem quins són els casos on existirà simultaneïtat, comprovarem que és una hipòtesi que s'adiu a les característiques particulars del nostre pla d'estudis.

A primer i segon, les assignatures que es faran simultàniament són les d'hora b, i aquestes per definició tenen la meitat d'alumnes, per tant, mai ens trobarem amb una classe amb un nombre d'alumnes superior a la capacitat de l'aula de laboratoris petita, així podrem assignar ambdós mòduls a cadascuna de les aules.

En el cas de tercer, les assignatures que tenen més aflluència d'alumnes són les que pertanyen al bloc comú, i per definició, les assignatures d'aquest bloc no es donaran en concordança amb cap altra assignatura. Per les assignatures d'altres blocs d'especialitat que coincideixen en hora, suposem que el tamany del grup no serà superior a la capacitat de l'aula de laboratoris més petita. Recordem que les assignatures a tercer són optatives i l'aflluència no té la mateixa densitat que als altres cursos. De totes maneres, sempre tenim un marge per casos extraordinaris ja que una de les dues classes es farà a l'aula de laboratoris gran.

## **2.2. ASSIGNACIÓ D'ASSIGNATURES A DIES**

Dins d'aquesta fase se'ns presenten també dos models diferents, un que engloba els cursos de primer i segon i l'altre el curs de tercer. Això és degut a les diferències que existeixen entre aquests cursos. A primer i segon es té l'opció de fer classes amb la meitat d'alumnes, la qual cosa no es pot donar a tercer, i seguidament, a tercer el plantejament és una mica diferent ja que pot existir simultaneïtat d'assignatures, sempre i quan no siguin del mateix bloc temàtic o del bloc comú.

Definim les variables binàries  $Z_{ijk}$  que indicaran si el mòdul  $j$  de l'assignatura  $i$  s'assignarà al dia  $k$  o no. La funció objectiu és lineal i està dissenyada de tal manera que s'assignaran aquells mòduls que minimitzin les penalitzacions ( $c_{ik}$ ) que els professors han donat per cada dia de la setmana.

### 2.2.1. MODEL PER A TERCER

El model per a tercer és:

Sigui  $A$  el conjunt d'índexs de les assignatures,  $\forall i \in A$  :

Definim  $m_i$  el conjunt d'índexs de mòduls de l'assignatura  $i$  - èssima.

$K = \{1..5\}$  conjunt dels índexs dels cinc dies de la setmana.

Particionem el conjunt  $A$  en dos subconjunts,  $A = B \cup C$  tals que :

$B$  sigui el conjunt d'índexs de les assignatures que no es fan simultàniament amb una altra.

$C$  sigui el conjunt d'índexs de les assignatures que es fan simultàniament amb una altra.

$$Z_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{mòdul } j \text{ - èssim de l'assignatura } i \text{ - èssima està assignat al dia } k \\ 0 & \text{mòdul } j \text{ - èssim de l'assignatura } i \text{ - èssima } \mathbf{no} \text{ està assignat al dia } k \end{cases}$$

$c_{ik}$  : cost de l'assignatura  $i$  - èssima de ser assignada el dia  $k$ .

$d_{ij}$  = duració del mòdul  $j$  - èssim de l'assignatura  $i$  - èssima.

Funció objectiu :

$$\text{Min} \left( \sum_{i \in A} \sum_{k \in K} c_{ik} \times \left( \sum_{j \in m_i} Z_{ijk} \right) \right)$$

Constriccions :

1. - Es fan tots els mòduls de totes les assignatures :

$$\sum_{k \in K} Z_{ijk} = 1 \quad \forall i \in A, \forall j \in m_i \quad (1)$$

2. - Cada dia es fa com a molt un mòdul de cada assignatura :

$$\sum_{j \in m_i} Z_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in A, \forall k \in K \quad (2)$$

3. - Per cada alumne no més de 5 hores lectives per dia :

$$\sum_{i \in B} \sum_{j \in m_i} d_{ij} \times Z_{ijk} + \frac{1}{2} \sum_{i \in C} \sum_{j \in m_i} d_{ij} \times Z_{ijk} \leq 5 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\text{N}^\circ \text{ de variables : } \sum_{i \in A} (|m_i| \times |K|)$$

Nº de constriccions :

$$\text{Constricció n}^\circ 1 : \sum_{i \in A} |m_i|$$

$$\text{Constricció n}^\circ 2 : |A| \times |K|$$

$$\text{Constricció n}^\circ 3 : |K|$$

Per aquest primer model existeixen quatre famílies de constriccions. Les dues primeres famílies són les anomenades constriccions d'assignació.

Les constriccions de tipus (1) obliguen a que s'imparteixin tots els mòduls de totes les assignatures al llarg de la setmana, impedit que un mòdul s'assigni dues o més vegades i forçant que aquest es doni exactament un cop mitjançant una constricció d'igualtat.

La següent família de constriccions, la de tipus (2), té en compte que per cada dia només es faci com a màxim un dels mòduls de cada assignatura.

Les constriccions de tipus (3) ens marquen una fita superior del nombre d'hores que pot rebre un alumne per dia. Tenint en compte que el programa està dissenyat per la Diplomatura i observant els anteriors horaris d'aquesta, s'ha marcat una fita superior de 5 hores diàries. Així, aquesta constricció impedeix que siguin més de 5 hores les que pugui cursar un alumne en un dia.

Si ens fixem en aquesta família de constriccions podem observar que els mòduls realitzats simultàniament intervenen al sumatori amb un pes de  $\frac{1}{2}$ . És natural tenir en compte només una de les dues assignatures, perquè el que aquí es comptabilitza és el nombre d'hores de classe que l'alumne fa en un dia, no el nombre d'hores de classe que es realitzen en un dia.

### 2.2.2. MODEL PER A PRIMER I SEGON

Per a primer i segon curs només caldrà afegir una constricció al model vist per tercer. La funció objectiu i les famílies de constriccions vistes anteriorment són vàlides per aquest model. L'única diferència recau en una quarta família de constriccions.

El conjunt de constriccions (4), que obliga per tots els mòduls d'hora  $b$  existents que es donin exactament dues vegades, una per cada meitat de la classe.

Així:

Definim el conjunt  $n_i$  com a subconjunt d'  $m_i$ ,  $n_i \subseteq m_i$  :

$n_i$  conjunt d' índexs de mòduls d' hora  $b$  de l' assignatura  $i$  - èssima.

4. - Cada un dels mòduls d' hora  $b$  s' ha de donar dues vegades, una per cada subgrup :

$$\sum_{k \in K} Z_{ijk} = 2 \quad \forall i \in C, \quad \forall j \in n_i \quad (4)$$

Constriccions del conjunt n°4 :  $|C| \times \sum_{i \in C} |n_i|$



D'acord amb aquest model, les solucions del problema vindran donades per vectors  $Z_{ijk}$  que satisfaran les constriccions. Una altra forma, però, de representar-les és mitjançant la següent aplicació:

$$\begin{aligned} \delta: A \times \bigcup_{i \in A} m_i &\longrightarrow K \\ (i, j) &\longrightarrow k \end{aligned}$$

tal que les imatges:

$$\delta(i, j) = k \Leftrightarrow Z_{ijk} = 1$$

Amb aquesta notació definirem dos entorns de solució, l'entorn per les solucions de reassignació i aquell per les solucions d'intercanvi. Més endavant, en el procediment de les heurístiques, recorrerem a aquesta aplicació per tal d'explicar la resolució d'aquestes.

### Reassignació

L'entorn 1 de solució és aquell que engloba totes les reassignacions factibles que s'obtenen a partir de  $\delta$  modificant l'assignació d'un únic mòdul d'una assignatura a un altre dia.

$$E_1(\delta) = \left\{ \begin{array}{l} \delta': \exists (i', j'), i' \in A, j' \in m_i \text{ t.q. } \delta'(i', j') \neq \delta(i', j'), \\ \delta'(i, j) = \delta(i, j), \forall (i, j) \neq (i', j') \end{array} \right\}$$

### Intercanvi

L'entorn 2 de solució engloba totes aquelles solucions que s'obtenen intercanviant entre si dos mòduls de dos dies diferents.

$$E_2(\delta) = \left\{ \begin{array}{l} \delta': \exists (i', j'), (i'', j''), i', i'' \in A, j' \in m_i, j'' \in m_{i''} \text{ t.q. } : \\ \delta'(i', j') = \delta(i'', j'') \\ \delta'(i'', j'') = \delta(i', j') \\ \delta'(i, j) = \delta(i, j), \forall (i, j) \neq (i', j') \wedge (i'', j'') \end{array} \right\}$$

## 2.3. FILTRE

Abans de poder assignar l'ordre de les assignatures per cada dia hem d'assegurar-nos que el resultat aconseguit amb la primera assignació és factible per aquesta segona assignació.

Com ja s'ha esmentat anteriorment, la disponibilitat d'aules equipades amb ordinadors és escassa, concretament es pot fer ús de dues aules amb aquestes

condicions, i una d'aquestes aules no té una capacitat suficient com per poder acollir qualsevol grup d'alumnes que es pugui formar en qualsevol dels tres cursos de la Diplomatura. De fet, l'aula de laboratoris amb més capacitat s'haurà d'usar per les assignatures obligatòries (excepte els mòduls d'hora b), i aquelles assignatures optatives de tercer que pertanyen al bloc comú ja que l'altra aula no és vàlida per poder acollir aquesta classe de mòduls.

Per tant, sabent que simultàniament es poden fer com a màxim dues classes a l'aula de laboratoris, i sabent que al dia tenim un interval de cinc hores, l'assignació factible serà aquella que no sobrepassi les 10 hores a aquest tipus d'aules en un dia i per tots els cursos (recordem que l'assignació a hores es fa conjuntament, precisament a causa d'aquestes capacitats limitades), però repartides de tal manera que a l'aula gran només es puguin fer 5 hores al dia, i a l'aula petita es puguin fer les cinc hores lectives, i ja que és possible fer el canvi de l'aula petita a la gran, també disposem d'aquelles hores en les quals l'aula gran queda lliure. Així doncs tindrem una capacitat màxima per l'aula petita que serà la diferència de les 10 hores menys el nombre d'hores que ja utilitzem l'aula gran.

En aquest model no existeix una funció objectiu perquè es tracta de que el resultat que tenim fins ara verifiqui les dues famílies de constriccions, és a dir, que sigui factible.

Sigui  $H = \{1,2,3\}$  índexs de cursos.  $\forall h \in H$  definim :

$D_h$  conjunt d'índexs d'assignatures del curs  $h$ .  $\forall i \in D_h$  definim :

$f_{ih}$  = conjunt d'índexs de mòduls que es fan a l'aula de laboratoris gran per l'assignatura  $i$  – èssima i el curs  $h$ .

$g_{ih}$  = conjunt d'índexs de mòduls que es fan a l'aula de laboratoris petita per l'assignatura  $i$  – èssima i el curs  $h$ .

Constriccions :

1. El nombre d'hores en que s'utilitza l'aula de laboratoris gran en un dia (grups grans) ha de ser inferior o igual a 5 :

$$\sum_{h \in H} \sum_{i \in D_h} \sum_{j \in f_{ih}} d_{ij} \times Z_{ijk} \leq 5 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

2. El nombre d'hores a utilitzar l'aula de laboratoris petita (grups petits) i l'aula de laboratoris gran (grups grans) en un dia ha de ser inferior o igual a 10 :

$$\sum_{h \in H} \sum_{i \in D_h} \sum_{j \in g_{ih}} d_{ij} \times Z_{ijk} + \sum_{h \in H} \sum_{i \in D_h} \sum_{j \in f_{ih}} d_{ij} \times Z_{ijk} \leq 10 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

Nº de constriccions :

Constricció nº1 :  $|K|$

Constricció nº2 :  $|K|$

Així, si observem les constriccions que cal complir per poder començar a assignar l'ordre de les assignatures per dia, veurem que en la primera família de constriccions (5) es limita a 5 el nombre d'hores per dia que es faran a l'aula de laboratori amb més capacitat.

En la següent família de constriccions (6) s'ha de complir que les hores que es fan a l'aula petita més les que ja hem assignat a l'aula gran (grups grans) no superi les 10 hores al dia.

#### **2.4. ASSIGNACIÓ D'ASSIGNATURES A HORES**

Serà el model que definirà l'assignació dels mòduls de les assignatures a les diferents hores del dia (variables  $F_{jkh}$ ) pels tres cursos conjuntament. El mateix model servirà pels cinc dies de la setmana.

S'estableixen dues franges horàries, una engloba les primeres hores, i l'altra les últimes. Els professors assignen una penalització per a la seva assignatura a cada una de les franges horàries i per cada dia.

Per tant, la funció objectiu es basarà en la minimització global per dia d'aquestes penalitzacions per cada un dels mòduls que tenim per assignar.

El model resultant és (es repeteix per cada dia):

$\forall h \in H$ , conjunt d'índexs de cursos definim :

$V_h$  conjunt d'índexs de tots els mòduls assignats del curs  $h$ .

Definim els següents subconjunts de  $V_h$  :

$V_{1h}$  és el conjunt d'índexs dels mòduls de totes les assignatures de l'aula de laboratoris petita del curs  $h$ .

$V_{2h}$  és el conjunt d'índexs dels mòduls de totes les assignatures de l'aula de laboratoris gran del curs  $h$ .

$R = \{1..10\}$  són els índexs dels blocs de mitja hora en què es parteix el dia.

$U$  és el conjunt d'índexs de tots els professors de la diplomatura.  $\forall e \in U$  definirem :

$L_e$  conjunt d'índexs de les assignatures que dona el professor  $e$ .

$$W_{jkh} = \begin{cases} 1 & \text{mòdul } j \text{ - èssim del curs } h \text{ comença al bloc } k \\ 0 & \text{mòdul } j \text{ - èssim del curs } h \text{ no comença al bloc } k \end{cases}$$

$$F_{jkh} = \begin{cases} 1 & \text{mòdul } j \text{ - èssim del curs } h \text{ es dona al bloc } k \\ 0 & \text{mòdul } j \text{ - èssim del curs } h \text{ no es dona al bloc } k \end{cases}$$

$t_{jh}$  : duració en hores del mòdul  $j$  - èssim del curs  $h$

$s_{jk}$  : cost que el mòdul  $j$  - èssim comenci al bloc  $k$

Funció objectiu :

$$\text{Min} \left( \sum_{h \in H} \sum_{k \in R} \sum_{j \in V_h} s_{jk} \times W_{jkh} \right)$$

Constriccions :

1. - Que els blocs es donin seguits :

$$W_{jkh} \leq F_{jmh} \quad \forall h \in H, \forall j \in V_h, \forall m \text{ t.q. } k \leq m \leq k + 2 \times t_{jh} - 1, \forall k \in R \quad (7)$$

2. - Que cada assignatura duri el que ha de durar :

$$\sum_{k \in R} F_{jkh} = 2 \times t_{jh} \quad \forall h \in H, \forall j \in V_h. \quad (8)$$

3 - Que en un bloc només es doni una assignatura o dues que es puguin donar a la vegada :

$$\sum_{j \in B} F_{jkh} + \frac{1}{2} \sum_{j \in C} F_{jkh} \leq 1 \quad \forall k \in R, \forall h \in H \quad (9)$$

4.1. - L'aula de laboratoris petita només pot ser utilitzada per una assignatura per bloc :

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in V_{1h}} F_{jkh} \leq 1 \quad \forall k \in R \quad (10.1)$$

4.2. - L'aula de laboratoris gran només pot ser utilitzada per una assignatura per bloc :

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in V_{2h}} F_{jkh} \leq 1 \quad \forall k \in R \quad (10.2)$$

5. - Un professor no pot donar més d'una assignatura al mateix bloc :

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in L_e} F_{jkh} \leq 1 \quad \forall k \in R, \forall e \in U \quad (11)$$

$$N^{\circ} \text{ de variables : } \sum_{h \in H} |V_h|$$

$N^{\circ}$  de constriccions :

$$\text{Constricció n}^{\circ} 1 : |R| \times \sum_{h \in H} \sum_{j \in V_h} 2 \times t_{jh}$$

$$\text{Constricció n}^{\circ} 2 : \sum_{h \in H} |V_h|$$

$$\text{Constricció n}^{\circ} 3 : |H| \times |R|$$

$$\text{Constricció n}^{\circ} 4.1 : |R|$$

$$\text{Constricció n}^{\circ} 4.2 : |R|$$

$$\text{Constricció n}^{\circ} 5 : |R| \times |U|$$

Per tractar les diferències en les durades a l'hora d'assignar les assignatures a hores dividirem el dia en blocs de ½ hora. El fet d'acceptar com a mòdul vàlid aquell que duri una hora i mitja és la raó per la qual el dia es dividirà en blocs de ½ hora i no d'una hora, ja que en qualsevol dels intervals de ½ hora es pot començar a impartir un mòdul d'una assignatura. Per tant, un dia estarà format per 10 blocs, tenint en compte que aquest té cinc hores lectives.

La primera família de constriccions (7) garanteix que els blocs (de ½ hora) que componen una assignatura es donin seguits, un darrera l'altre. D'aquesta manera, un mòdul d'una hora i mitja estarà format ara per tres blocs de mitja hora, i serà per mitjà d'aquestes constriccions que tindrem garantit el fet que els tres blocs es donin correlativament formant el mòdul d'hora i mitja que se'ns havia demanat.

Si interpretem la constricció veiem que el que expressa és que un mòdul no pot començar (variables  $W_{jkh}$ ) si posteriorment no es dona (variables  $F_{jkh}$ ) durant tant de temps com li correspon (durada del mòdul). "m" és l'índex que ens retorna el nombre de blocs de ½ hora en que s'ha de donar el mòdul, lògicament el rang de variació de l'índex m variarà en funció de la durada ( $t_{jh}$ ).

La segona família de constriccions (8) assegura que cada mòdul de cada assignatura duri exactament el que ha de durar. És a dir, la suma dels blocs (de ½ hora) ha de ser igual a la durada del mòdul.

En la tercera família, constriccions de tipus (9), es té en compte que en un mateix bloc horari no es faci més d'una assignatura, amb l'excepció d'aquelles que es poden fer a la vegada.

Les dues darreres famílies de constriccions fan referència a les limitacions de recursos compartits.

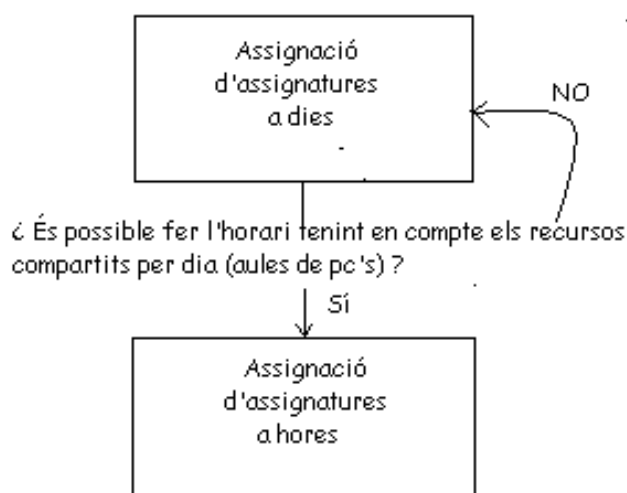
En les constriccions de tipus (10.1) i (10.2) es controla que les dues aules de laboratoris només siguin utilitzades una vegada com a molt per cada bloc (de ½ hora).

Finalment, s'ha de controlar també, mitjançant les constriccions de tipus (11), que per a un mateix bloc horari no tinguem dues assignatures de cursos diferents fetes pel mateix professor ja que seria físicament impossible.

### 3. LES SOLUCIONS (HEURÍSTIQUES)

Un cop definits els models, es tracta de trobar solucions per a cadascun d'ells. Serà en aquest apartat on veurem el procediment a seguir per trobar-les.

Enfocarem la resolució del problema mitjançant la utilització d'heurístiques. Cada una de les heurístiques utilitzades seguirà uns criteris concrets en funció del seu model associat i depenent de l'objectiu en cada cas. Recordem que tenim el problema dividit en tres fases. Així, l'esquema de la solució és aquest:



Explicarem totes i cada una de les heurístiques que intervenen en el procediment del nostre problema. Començarem, tal i com marca l'esquema, explicant quins són els passos a seguir a l'hora d'obtenir solucions per a la primera fase del problema: l'assignació de les assignatures a dies.

#### 3.1. ASSIGNACIÓ D'ASSIGNATURES A DIES

L'objectiu d'aquesta primera fase, com ja hem explicat amb anterioritat, és obtenir una assignació de les assignatures als dies de la setmana per cada un dels tres cursos independentment i de tal manera que es minimitzin les penalitzacions donades pels professors. Realitzarem l'assignació d'assignatures a dies en tres etapes diferenciades:

1. Heurística d'assignatures a dies
2. Heurística d'ajustar hores
3. Heurística de millora

Utilitzarem aquestes tres heurístiques de manera seqüencial, és a dir, un cop finalitzada la primera de les heurístiques aplicarem a la solució resultant la següent, i així fins haver aplicat les tres.

La primera etapa és la d'assignació pròpiament dita, aquesta heurística s'encarregarà de donar-nos una solució factible de l'assignació als diferents dies tant bona com sigui possible. Utilitzarem per aquesta etapa una heurística de tipus Greedy. Són heurístiques que es poden definir com un procediment constructiu que de forma

iterativa construeixen una bona solució inicial de manera senzilla i amb un nombre baix d'iteracions.

La segona etapa és necessària per arreglar certes ineficiències provocats per la primera assignació, utilitzarem una altra heurística: l'heurística d'ajustar hores.

En la tercera etapa buscarem millorar la solució obtinguda fins ara amb una heurística de millora, la qual és molt comú que s'apliqui després d'una heurística Greedy ja que, en general, millora molt els resultats. La solució resultant ja serà vàlida per iniciar la segona fase del problema: el filtre.

### **3.1.1. HEURÍSTICA ASSIGNACIÓ D'ASSIGNATURES A DIES**

Una vegada establertes les restriccions de l'assignació de les assignatures a dies i definida la funció objectiu sobre la qual es basarà la solució final passarem a descriure l'heurística de tipus Greedy utilitzada.

Les heurístiques d'aquest tipus, com hem dit, són procediments constructius que a cada iteració afegeixen un element a la solució parcial. Prèviament es defineix una funció d'avaluació per tal de seleccionar l'element a assignar a cada pas. És a dir, en cada iteració es tria l'òptim local. Aquesta "miopia" en la selecció dels elements sovint dona lloc a situacions d'ineficiència, per tant és convenient definir procediments adaptats als problemes concrets per tal d'evitar-les.

També, el fet de triar cada vegada l'òptim local, ens impedirà escollir possibles combinacions globals de menor cost. És per això que posteriorment construïm una heurística per millorar la solució.

#### **Com tractar les hores b i les assignatures de tercer**

Donat que parells de mòduls d'hores de tipus b d'assignatures diferents es faran simultàniament formant un nou mòdul (**punt 1.3.2**), explicarem com construirem aquestes combinacions.

Així, a priori, per tots els mòduls d'hora b de la mateixa durada farem les possibles combinacions dos a dos. Cal però, contemplar la possibilitat de que aquest fet no sigui possible en cas de tenir només un mòdul d'una de les dues durades (1 o 2 hores). En aquest cas intentarem combinar-lo amb la resta de mòduls de l'altra durada de manera que hi ha hagi el menor nombre de temps en què només s'imparteixi un mòdul d'hora b.

El cost que assignarem a aquests nous mòduls combinats serà la part entera de la mitjana dels costos de les dues assignatures que formen la combinació.

Es podran assignar fins a 2 mòduls de la mateixa assignatura en un mateix dia, un amb cada una de la meitat dels alumnes. Per tant, cada combinació es podrà atorgar tants cops com aquesta restricció ho permeti en un mateix dia, en funció de les combinacions que ja hi hagi prèviament.

En el cas particular de tercer curs (**punt 1.3.3**) procedirem d'una manera anàloga a l'hora de formar els nous mòduls fruit de la combinació de dues assignatures optatives. Farem totes les possibles combinacions d'assignatures que tinguin els mòduls de la mateixa durada, respectant però, no combinar assignatures del mateix bloc temàtic o del bloc comú.



### **Situacions d'infactibilitat**

Per tal d'assegurar que la solució sigui factible, hem de distingir aquelles situacions d'infactibilitat i avaluar si l'element candidat a ser assignat les compleix. Ens trobarem en una situació d'aquest tipus quan l'element violi alguna de les constriccions del model. Les dues primeres famílies de constriccions, (1) i (2), són les d'assignació pròpiament dites i la mateixa heurística s'ocupa de no infringir-les. Analitzarem a continuació les dues restants.

#### **Família de constriccions (3) del model**

Aquestes constriccions ens garanteixen que no tindrem un interval de classe de més de cinc hores per cada dia.

En el moment en què anem a assignar un mòdul comprovarem si la suma del dia on assignariem el mòdul (suma dels mòduls ja assignats) més la suma del mòdul sobrepassa la fita superior de les cinc hores. Si és així l'element no superarà aquesta constricció i no podrà ser assignat.

#### **Família de constriccions (4) del model**

Aquestes constriccions obliguen a cada mòdul d'hora b a realitzar-se exactament dues vegades al llarg de la setmana. Veiem amb deteniment el procés que provocaria l'incompliment d'aquestes constriccions.

Per les combinacions d'hores b, hem de controlar de prop l'evolució de l'assignació per tal d'evitar una situació infactible a posteriori.

En el moment en què s'assigna una combinació, si els mòduls que la formen són els últims a assignar de la seva respectiva assignatura, haurem d'eliminar de la llista inicial totes aquelles combinacions que estiguin formades per algun d'aquests dos mòduls. Al procedir d'aquesta manera estem descartant també el mòdul acompanyant en la combinació i podríem estar eliminant de la llista tots els mòduls d'una altra assignatura sense haver-los assignat prèviament.

D'aquesta manera, en el moment d'assignar una combinació de mòduls d'hora b hem d'assegurar-nos que la seva assignació no causarà una situació a posteriori no desitjada. Si fos així, hauríem d'impartir aquests mòduls que han quedat penjats de manera individual, la qual cosa derivaria en un augment de la suma d'hores assignades per dia impedit impartir tots els mòduls dins l'interval de cinc hores establert.

#### **3.1.1.1. Procediment de l'heurística**

Començarem generant una llista amb tots els possibles mòduls a assignar de les assignatures del curs a tractar i l'ordenarem de manera ascendent pel cost de cada element de la llista. Inicialment aquesta llista contindrà per cada mòdul cinc elements amb el cost associat corresponent als cinc dies de la setmana en que pot ser assignat. Per cada combinació formada per mòduls d'hora b tindrem dos elements per dia.

En el pas iteratiu seleccionem el següent element de la llista. (En cas d'empat utilitzem els criteris de desempat que es descriuen a continuació).

Per veure si assignem el mòdul, comprovem si aquest compleix les famílies de constriccions (3) i (4). Actualitzem tota la informació. Escollim el següent element de la llista. El procediment finalitza quan la llista es quedi buida.

**\* Criteris de desempat**

A l'hora d'escollir el següent element de la llista de cost mínim es podria donar el cas de que tinguéssim més d'un element amb el mateix cost associat. Si fos així, resoldríem aquest empat tenint en compte els següents criteris:

1. Assignem d'entre els de cost mínim aquell que seria assignat al dia amb menys hores assignades fins al moment.
2. Escollim l'element de més durada. Entenem que serà més difícil assignar els mòduls de més durada que no pas els que duren menys, que a priori ens oferiran més flexibilitat.
3. Assignem l'element que pertany a l'assignatura a la qual se li han assignat menys mòduls fins al moment. Cal donar l'oportunitat a totes les assignatures de que alguna de les seves preferències sigui considerada.
4. Arribats a aquest punt assignarem el que estava situat abans a la llista d'elements pendents d'assignació.

**\* Actualitzacions**

Cada vegada que assignem un mòdul haurem d'actualitzar els següents factors:

1. La suma d'hores del dia on assignem el mòdul, sumant-hi la durada d'aquest.
2. Els mòduls pendents d'assignar per assignatura, restant una unitat al nombre actual. Si l'assignatura assignada és una combinació de mòduls d'hora b o d'assignatures de tercer, caldrà disminuir el nombre de mòduls a assignar per totes les assignatures que formin aquell mòdul.
3. La llista dels elements pendents d'assignació de la següent manera:
  - Eliminarem de la llista els mòduls de l'assignatura elegida que vagin al mateix dia (en el cas de que el mòdul sigui de pràctiques ho farem quan s'hagin assignat dos mòduls al mateix dia). D'aquesta manera respectem la constricció bàsica de que una assignatura només pot ser impartida una sola vegada en un mateix dia.
  - En cas de que aquest sigui l'últim mòdul que faltava per assignar d'aquesta assignatura i durada, eliminarem la resta d'iguals característiques.

**\* A tenir en compte per les últimes iteracions:**

Es podria donar el cas que no poguéssim assignar cap dels elements de la llista però que ens quedessin encara mòduls per assignar. Seria així si ens faltessin per col·locar mòduls d'una assignatura que ja té d'altres mòduls assignats en els dies en que encara no hem passat la fita superior d'hores.

Per solucionar-ho, procediríem a tractar la resta de mòduls sense avaluar la família de constriccions (3) del model i basant-nos únicament en els criteris de desempat.

Aquests desajustos que es poden donar en les últimes iteracions de l'heurística seran resolts amb l'heurística d'ajustar hores que ve a continuació.

### 3.1.1.2. Esquema de l'heurística utilitzada

Sigui :

$S_k$  : suma del dia  $k$

$m_{ij}^k$  : mòdul  $j$  de l'assignatura  $i$  al dia  $k$ .

$S$  : mòduls assignats (solució)

Inicialització :

$$J_k = \left\{ m_{ij}^k \right\}_{i \in B} \cup \left\{ (m_{ij}^k, m_{i'j'}^k) \mid \substack{i, i' \in C \\ i \neq i'} \right\} ; \quad \forall k \in K$$

$L = \{J_k\}_{k \in K}$  ordenats per valors creixents de cost

$S = \emptyset$

$S_k = 0 \quad \forall k \in K$

Pas iteratiu:

Mentre  $L \neq \emptyset$  i  $S \neq A$  fer:

- Seleccionar el següent element de  $L$  tenint en compte els criteris de desempat ( $m_{ij}^k$ ).
- Si l'assignació de  $m_{ij}^k$  satisfà les constriccions (3) i (4):
  - Assignar  $m_{ij}^k$ , mòdul  $j$  de l'assignatura  $i$  al dia  $k$ 
    - Si  $i \in B$  llavors  $S := S \cup \{m_{ij}^k\}$
    - Si  $i \in C$  llavors  $S := S \cup \{m_{ij}^k, m_{i'j'}^k\}$
    - $L := L \setminus \{m_{ij}^k\}$
    - Completar actualitzacions
    - $S_k = S_k + d_{ij}$

FMentre

**Figura 1. Heurística d'assignació a dies.**

### **3.1.2. HEURÍSTICA D'AJUSTAR HORES**

Una vegada hem finalitzat l'assignació d'assignatures a dies mitjançant l'heurística descrita anteriorment hem de tractar els possibles desajustos causats en l'assignació. Com hem ressaltat abans, les últimes iteracions de l'anterior heurística ens poden menar a un resultat infactible en relació al nombre d'hores diàries de classe.

Aquesta heurística servirà per solucionar aquesta qüestió. És a dir, es tracta de sotmetre el resultat a certs canvis per tal d'assolir aquesta fita de 5 hores per cada dia de la setmana.

La idea és efectuar intercanvis de mòduls de diferents durades aconseguint reajustar les sumes dels dies. Farem aquests intercanvis sense tenir en compte el cost associat dels mòduls a intercanviar perquè ja de per si és complicat trobar un mòdul que compleixi les característiques necessàries per a ser intercanviat.

D'aquesta manera, l'aplicació posterior de l'heurística de millora servirà també per pal·liar els possibles efectes que aquests canvis provocarien en la optimització global.

#### **3.1.2.1. Procediment de l'heurística**

Generem una llista dels índexs dels dies ordenada de forma decreixent per la suma de les hores assignades. L'explorem de forma seqüencial. En el pas iteratiu seleccionem el primer element (dia A) i l'últim element (dia B) de la llista. Si la suma d'hores assignada al dia A és superior a 5 i la suma d'hores assignada al dia B inferior a 5 realitzem reassignacions i/o intercanvis entre els dies A i B. Actualitzem la llista. El procediment finalitza quan el valor associat al primer element de la llista és inferior o igual a 5.

#### **\* Intercanvis:**

En funció del valor de la suma de les hores dels dies A i B considerarem un d'aquests tres casos:

1. El dia A té 6 hores de classe i el dia B 4.
2. El dia A té 5,5 hores de classe i 4,5 el dia B.
3. Altrament.

Anomenarem  $cas(A,B)$  al procés que ens retorna un número indicatiu (1,2,3) de quin dels tres casos ens trobem.

A continuació distingirem el tractament a seguir per resoldre la violació de la constricció (3) del model en cada un dels tres casos.

#### **Primer cas**

Provarem tres tipus de canvis diferents amb la finalitat de trobar-ne algun de factible per solucionar el cas 6-4.

1. Prendre un mòdul d'1 hora del dia A i reassignar-lo al dia B.

2. Buscar un dia D tal que es puguin trobar dos mòduls d'1 hora. Es farà un intercanvi a tres bandes. Un mòdul del dia D anirà al dia B, l'altre al dia A i un mòdul de 2 hores del dia A s'assignarà al dia D.
3. Intercanvi entre un mòdul de 2 hores del dia A i un mòdul d'1,5 hores d'un dia D diferent a A i B.

#### **Segon cas**

Comprovarem si algun dels tres canvis següents ens aporta la solució desitjada. En aquest cas hauríem arreglat el dia de 5,5 hores que se situaria a 5 hores.

1. Intercanvi entre un mòdul d'1 hora del dia B i un mòdul d'1,5 hores del dia A.
2. Intercanvi entre un mòdul de 2 hores del dia A i un mòdul d'1,5 hores del dia B.
3. Intercanvi entre dos mòduls d'1 hora del dia A i un mòdul d'1,5 hores del dia B.

#### **Tercer cas**

Es tracta d'agafar el mòdul més petit del dia A i assignar-lo al dia B. Si no ens trobem en els altres dos casos procedirem d'aquesta manera apropant les sumes dels dies A i B a 5.

Anomenarem *tractar\_cas* (A,B,L) al procés que aplicarà el tractament descrit amb anterioritat que utilitzarem segons sigui el cas corresponent (L).

#### **\* Factibilitat**

Si trobem els mòduls adequats per fer l'intercanvi hem de comprovar que aquest no sigui infactible.

Recordem la família de constriccions (2) que diu que no podem fer més d'un mòdul d'una assignatura en un dia. D'aquesta manera, ens hem d'assegurar que l'intercanvi no ens deixi en un dia dos mòduls d'una mateixa assignatura. Aquesta comprovació es fa prèviament a qualsevol dels intercanvis descrits.

#### **3.1.2.2. Esquema de l'heurística utilitzada**

Inicialització:

Definim:

L: llista d'índexs de dies ordenada per valor decreixent de la suma total d'hores assignades a aquest dia.

$S_k$  : suma de les hores assignades al dia k

Fi:=fals

Mentre Fi=fals fer:

    Sigui A el primer element de L

    Sigui B el darrer element de L

```
Si  $S_A \leq 5$  fer:  
    Fi:=cert  
Sinó  
    L = cas (A,B)  
    Tractar_cas (A,B,L)  
FSi  
FMentre
```

**Figura 2. Heurística d'ajustar hores.**

### **3.1.3. HEURÍSTICA DE MILLORA**

La tercera etapa de l'assignació de les assignatures a dies busca millorar la solució resultant. La idea és fer reassignacions i intercanvis d'assignacions entre mòduls de diferents dies que millorin la solució inicial. Per tal de fer-ho, utilitzarem els entorns de solució  $E_1(\delta)$  i  $E_2(\delta)$  definits en la secció (2.2.2).

Utilitzarem una altra heurística per fer-ho, molt útil si prèviament hem utilitzat una heurística tipus Greedy per a l'assignació, on només es té en compte la optimització pas a pas però no la global. Aquesta heurística és molt senzilla, però millora bastant la solució; és bona, i molt intuïtiva.

#### ***Explicació detallada de com generarem la llista a utilitzar***

Creem una llista de tots els possibles canvis a fer; necessitem la informació dels dos dies implicats en el canvi, l'assignatura a la qual fem referència, la durada que té el mòdul que volem canviar i el cost associat d'aquest canvi.

Cal ressaltar que per a cada mòdul tindrem tants elements a la llista com dies hi hagi on no tinguin l'assignatura del mòdul. Si una assignatura té tres mòduls, cada mòdul tindrà dos elements a la llista (dos dies lliures). Per tant, en total tindrem 6 elements a la llista per aquesta assignatura (2 dies lliures per tres mòduls de l'assignatura).

Per cada element de la llista calcularem el cost associat d'assignar-se al dia que marca sabent de quin dia parteix. És a dir, farem la resta entre el cost que ha donat el professor per aquesta assignatura pel dia receptor i el cost que ha donat pel dia al que pertany el mòdul. D'aquesta manera, si el cost associat és negatiu el canvi millorarà la solució global.

#### **Test 1**

Direm reassignació a l'assignació d'un mòdul a un altre dia sense que hagi de venir un nou mòdul en el dia actual.

Aquest test fa una selecció en les solucions de  $E_1(\delta)$  a considerar. Per tal de fer-la, s'ha de complir que el cost associat del canvi de l'element actual sigui inferior a zero (millori la solució) i la suma del dia que rebrà el mòdul més la durada d'aquest no sobrepassi la fita de 5 hores establerta.

#### **Test 2**

D'altra banda, aquest test seleccionarà les solucions de  $E_2(\delta)$  a considerar, aquells intercanvis possibles:

Per tal de fer la selecció es requereix que:

- La suma dels dos costos dels mòduls a intercanviar sigui menor que zero.
- L'intercanvi és l'adequat, el dia on vol anar el primer mòdul coincideix amb el dia de l'altre mòdul i a l'inrevés.
- El canvi sigui possible en relació a les durades dels mòduls, que no quedi cap dels dos dies amb un interval horari més ampli de 5 hores.

### 3.1.3.1. Procediment de l'heurística (esquema)

Sigui  $\delta$  la solució actual.

Definim  $N_1(\delta), N_2(\delta)$  ordenant els elements per valors creixents

$Fi:=fals$

Mentre  $Fi=fals$  fer:

$\delta'=\delta$

    Explorar seqüencialment  $N_1(\delta)$  fins trobar un element  $\delta'$  que pertanyi a  $N_1(\delta)$  i superi el test 1.

    Si  $\delta'=\delta$  (no trobat) fer:

        Explorar seqüencialment  $N_2(\delta)$  fins trobar un element  $\delta'$  que pertanyi a  $N_2(\delta)$  i superi el test 2.

    FSi

    Si  $\delta'\neq\delta$  fer:

$\delta:=\delta'$

        Actualitzar tota la informació

        sinó

$fi:=cert$

    FSi

FMentre

**Figura 3. Heurística de millora.**



### **3.2. FILTRE**

Finalitzada la primera fase del problema hem obtingut una assignació factible dels mòduls de les assignatures als dies de la setmana i optimitzada amb l'heurística de millora. Ara entrem en la segona fase, aquella anterior a l'assignació de les assignatures a hores: el filtre.

Prèviament a l'assignació d'assignatures a hores els resultats obtinguts han de passar per un *filtre* que detecta si la solució obtinguda està preparada per passar a la tercera fase o si ha de ser objecte d'alguns canvis previs.

En el **(punt 1.3.2)** ens fem ressò de les limitacions de recursos que ens plantegen les aules de laboratori. Fins ara no hem tingut en compte aquestes restriccions, però és el moment de comprovar si la nostra solució viola les constriccions (5) i (6) relacionades amb aquestes aules per cada un dels dies de la setmana. Per fer-ho, usarem un procediment similar a l'heurística d'ajustar hores pel seu caràcter de reajust, amb la qual assolirem l'objectiu desitjat en aquesta part del problema.

Per tant, per tal de solucionar aquesta concentració d'aules de laboratori en un dia recorrerem també als intercanvis de mòduls entre els diferents dies.

Com que la segona constricció està en funció de la primera, per començar a tractar-la haurem d'haver resolt aquesta prèviament. D'altra banda, el tractament per les dues és el mateix.

Plantegem dos intercanvis de diferents característiques: per una banda fem intercanvis entre mòduls de la mateixa assignatura, i si així no és resolta la infactibilitat, procedim a fer-los entre assignatures diferents.

#### **3.2.1. Procediment de l'heurística**

És un procediment iteratiu que en cada iteració es considera un dia de la setmana per a validar la seva assignació. Cada iteració consta de dos etapes que s'apliquen seqüencialment.

##### **\* Primera etapa**

La intenció és fer un intercanvi amb un mòdul de la mateixa assignatura per tal que es redueixi la suma d'hores a l'aula de laboratoris corresponent. Es busca un mòdul de la mateixa assignatura perquè d'aquesta manera, al fer aquests canvis, no empitjorem els resultats obtinguts, és a dir, el cost de fer aquest canvi és 0.

Un cop fixat un mòdul que es faci a l'aula de laboratoris del que n'hem de reduir la seva suma, es buscarà a un altre dia un mòdul de la mateixa assignatura tal que es compleixi:

1. El canvi redueixi la infactibilitat respecte a la constricció corresponent, és a dir, la suma de les hores a l'aula de laboratoris disminueixi pel dia que tractem.
2. No violar cap constricció satisfeta actualment per l'altre dia implicat en el canvi.
3. No violar el conjunt de constriccions (3) en cas que les dues assignatures a intercanviar tinguin una duració diferent, és a dir, que no sobrepassem en cap dels dos dies la fita de 5 hores establerta.

**\* Segona etapa**

En cas de no resoldre el problema en la primera etapa repetirem el procés fent intercanvis on ja no cal que les assignatures siguin iguals.

Llavors, per aquest cas haurem d'afegir una quarta condició pel bloc escollit. Com també passava en l'heurística d'ajustar hores, ens hem d'assegurar que l'intercanvi no ens deixi en un dia dos mòduls d'una mateixa assignatura ja que incompliríem el conjunt de constriccions (2).

**3.2.2. Esquema de l'heurística utilitzada**

Per  $k=1,5$  fer:

Per  $l=1,2$  fer:

Si constricció (4) pel dia  $k$  violada fer:  
aplicar etapa 1

FSi

Si constricció (5) pel dia  $k$  violada fer:  
aplicar etapa 2

FSi

FPer

FPer

Etapa 1:

Per  $j=1,5$  fer:

Si  $k \neq j$  fer:

Buscar intercanvi entre mòdul dia  $k$  i mòdul dia  $j$  de la mateixa assignatura tal que reduïm la infactibilitat.

Si intercanvi fer:

Actualitzar dia  $j$  i dia  $k$

Fsi

Fsi

Fper

Etapa 2:

Per  $j=1,5$  fer:

Si  $k \neq j$  fer:

Buscar intercanvi entre mòdul dia  $k$  i mòdul dia  $j$  de diferents assignatures tal que reduïm la infactibilitat.

Si intercanvi fer:

Actualitzar dia  $j$  i dia  $k$

Fsi

Fsi

Fper

**Figura 4. Heurística del filtre.**

### 3.3. ASSIGNACIÓ D'ASSIGNATURES A HORES

La tercera i última fase del problema és la corresponent a l'assignació d'assignatures a hores. L'objectiu és obtenir una assignació factible de les assignatures a les hores del dia pels tres cursos conjuntament i de tal manera que es minimitzin les penalitzacions proporcionades pels professors. Un cop arribats aquí, la solució és factible pel que fa als recursos per dia de què disposem, si no era així el filtre s'encarregava de modificar-ho.

Per cada dia descomponem el problema conjunt pels tres cursos en 3 problemes independents que no tenen en compte les constriccions (10.1) (10.2) i (11) de recursos compartits (aules de laboratori i professors). En cas de que la solució violi aquestes constriccions sotmetrem el dia a un altre procediment que ens retorni una solució òptima factible.

Per la primera part utilitzarem el *problema d'assignació* per trobar l'ordre òptim dels mòduls en un dia determinat. Posteriorment aplicarem una heurística per a obtenir una solució factible per al problema conjunt.

#### \* El problema d'assignació

El problema d'assignació pròpiament dit és un cas particular del problema de transport amb les demandes unitàries. Veiem-ho:

$m = \#$  mòduls per assignar al dia  $k$ .

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{el mòdul } i \text{ s' assigna a la posició } j. \\ 0 & \text{el mòdul } i \text{ no s' assigna a la posició } j. \end{cases}$$

$c_{ij}$ : cost d'assignar el mòdul  $i$  a la posició  $j$ .

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \times X_{ij}$$

(PA) tal que :

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad \forall i = 1..m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ji} = 1 \quad \forall j = 1..m$$

$$X_{ij} \in (0,1)$$

Utilitzarem una rutina on el tenim ja implementat. El problema d'assignació ens retornarà l'ordre que prendrà l'assignació òptima per cada dia de la setmana i cada curs. Cal tenir en compte que cada vegada que implementem la rutina del PA s'ha de tornar a calcular la variable  $m$ , que depèn dels mòduls a assignar per aquell dia en concret. Tenim tantes posicions (franges horàries) com mòduls. Llavors, per cada mòdul necessitem tants costos d'assignació com posicions hi ha en aquell dia per tal d'escollir d'entre totes les possibles combinacions d'ordre aquella que sigui la de millor

cost. Recordem que per a l'assignació a hores els professors ens proporcionen dos costos associats, a la primera franja horària i a la última respectivament. Haurem de calcular tants costos intermedis com posicions tinguem en aquell dia menys 2, és a dir,  $m-2$  costos associats més. Restem 2 unitats a la  $m$  per què ja disposem dels dos costos inicials, a partir dels quals calcularem els altres.

### **Situacions d'infactibilitat**

Amb el problema d'assignació obtenim una solució òptima però no sabem si serà factible, llavors, per tal d'assegurar la seva factibilitat per al model plantejat hem d'avaluar si l'ordre obtingut en l'assignació viola les constriccions de recursos associades al model. Concretament estem parlant de dues constriccions d'aquest tipus descrites a continuació.

**Família de constriccions (10.1) i (10.2) del model:** Les aules de laboratori: cal que es compleixi que en un bloc horari no es facin servir més aules de les que tenim.

**Família de constriccions (11) del model:** Un mateix professor no pot donar dues assignatures en el mateix bloc horari.

La fase de la nostra heurística que s'ocupa del compliment de la família de constriccions (10.1) i (10.2) es defineix com un procés iteratiu que alterna entre dues fases. L'etapa de l'assignació de les hores a l'aula de laboratoris i l'assignació global tenint també en compte les hores que es fan a l'aula convencional (en direm mòduls de teoria). Aquestes dues etapes estan relacionades, tan sols accedirem a la segona quan es disposi d'una assignació factible d'hores de laboratori. Si la segona etapa no proporciona una solució global factible el procés continua i reprenem l'etapa 1.

L'etapa 1 consta també de dues parts. La primera estableix ordenacions pels mòduls de laboratori mentre que la segona identifica si aquesta ordenació permet una assignació a hores factible pel que fa als laboratoris. En cas de no ser així es tornarà a considerar la primera part tantes vegades com sigui necessari fins assolir el compliment de les constriccions.

#### **3.3.1. Procediment de l'heurística**

Apliquem l'heurística tantes vegades com dies tinguem en situació d'infactibilitat. Si el resultat viola alguna de les dues famílies de constriccions descrites tractem el resultat per assolir la factibilitat. Actualitzem tota la informació.

#### **Fase 1: Factibilitat constriccions (10.1) i (10.2)**

L'horari resultant del problema d'assignació no és vàlid perquè en alguna etapa del dia s'han assignat més classes de laboratoris que el nombre d'aules d'aquest tipus que es disposen. A continuació exposarem el tractament que seguirem per tal de solucionar-ho.

Generarem dues llistes amb els índexs dels mòduls que es fan a l'aula L1 (aula de laboratoris amb menys capacitat) i a l'aula L2 (aula de laboratoris amb més capacitat) respectivament. De moment no assignarem encara els mòduls que es fan a l'aula convencional (de teoria).

La condició necessària per tal d'aconseguir la factibilitat desitjada és que tots els mòduls que pertanyen a una mateixa llista estiguin assignats a diferents franges horàries.

Crearem una nova llista per cada una de les que tenim on hi guardarem totes les permutacions sense repetició d'ordre dels elements de les llistes inicials. Anomenarem P1 i P2 a les llistes resultants. A cada combinació li associarem el cost de realitzar-se i ordenarem ambdues llistes ascendentment en funció del cost.

P1 conté tots els possibles ordres dels mòduls de l'aula L1 i P2 el corresponent amb els mòduls de l'aula L2. Explorem conjuntament ambdues llistes de forma seqüencial fixant un element de L1 i variant L2 fins assolir una situació factible per laboratoris.

El problema d'identificar una assignació factible és molt complex. No totes les possibles permutacions (ordenacions) de mòduls de laboratoris donen lloc a solucions factibles, perquè és fàcil violar les constriccions d'hores (3) tenint en compte que s'ha d'establir una única assignació conjunta pels tres cursos simultàniament.

### Exemple

Veiem un dels tipus d'infactibilitat que podríem obtenir; aquell que violaria la família de constriccions (3):

Aules de laboratori a assignar:		
Primer curs:	durada	aula
Assignatura 1	2	1
Assignatura 3	2	2
Segon curs:	durada	aula
Assignatura 2	1	1
Assignatura 6	1	1
Assignatura 8	2	2

Si per cada una de les aules prenem el següent ordre d'assignació:

<u>Laboratoris 1</u>	<u>Laboratoris 2</u>
Assignatura 1 (1r)	Assignatura 3 (1r)
Assignatura 2 (2n)	Assignatura 8 (2n)
Assignatura 6 (2n)	

S'observa que els mòduls que estan en primera posició per les dues aules són de primer curs, i ambdós duren dues hores. Podrem assignar un mòdul d'un laboratori de segon curs just després d'haver assignat el mòdul de primer curs del mateix laboratori. És a dir, tant si assignem a la primera posició de primer curs el mòdul de laboratoris 1 com l'altre han de transcórrer dues hores de classe a segon abans

d'assignar el següent element de la llista. Llavors, si no volem violar les constriccions tipus (3) només ens quedarà un interval de 3 hores factible per assignar els mòduls restants; tenim quatre hores de laboratori a assignar per segon curs, l'interval que ens queda és insuficient. Per tant, no és possible trobar cap assignació a hores factible per aquestes ordenacions dels mòduls.

D'altra banda, cal destacar que els mòduls formats per dues assignatures (hora b i tercer) que requereixen les dues aules de laboratori simultàniament ja estan cobrint el màxim d'aules usades en un mateix interval horari i pel mateix curs, és per això que en els cursos restants i per aquesta mateixa franja no podem assignar cap més mòdul de laboratori. Aquest doncs, és un altre cas d'infactibilitat que ens podem trobar i ha incrementat en gran mesura la complexitat del problema. A l'hora d'implementar-ho afegirem aquests mòduls a la llista L2 i per tal de que la combinació entre els mòduls de les dues llistes sigui factible no podem assignar mòduls de L1 en els intervals on tinguem assignats aquests mòduls.

Recurrent totes les possibles combinacions d'ordre ens assegurem trobar la combinació factible si es donés el cas que només n'hi hagués una. Normalment no serà necessari fer moltes iteracions, i ens quedarem amb una de les primeres combinacions, les de menor cost.

Un cop tinguem establerta una ordenació pels mòduls de cada una de les llistes inicials haurem de decidir exactament a quina hora es donaran cada un d'ells.

Per cada mòdul calcularem les diferents franges en que pot començar a realitzar-se (interval de ½ hora possibles) tenint en compte el curs al qual pertanyen i les durades dels altres mòduls d'aquell mateix curs.

En funció de l'ordre actual i a partir dels principis possibles que tenim per cada mòdul calcularem totes les possibles distribucions conjuntes d'hores a començar per aquells mòduls de L1 i L2 respectivament. Per fer-ho seguirem aquestes pautes:

Primer mòdul comença després de $A$ hores de classe Segon mòdul comença després de $B \geq A + D1$ hores de classe Tercer mòdul comença després de $C \geq B + D2$ hores de classe ... D1: duració mòdul que s'ha d'assignar primer D2: duració mòdul que s'ha d'assignar en segon lloc On $A$ pren els valors de les possibles hores en que pot començar el primer mòdul On $B$ pren els valors de les possibles hores en que pot començar el segon mòdul ...
--

L'objectiu és establir una assignació horària pels mòduls d'ambdós laboratoris tal que combinades ens assegurin la factibilitat. Un cop assolida aquesta combinació factible per laboratoris passarem a l'etapa 2 on assignarem els mòduls de teoria.

La idea és detectar si l'assignació de mòduls de laboratori establerta deixa un espai lliure entre ells vàlid per a la realització contínua de la totalitat de cada un dels mòduls de teoria que ens queden per assignar. Si detectem que aquesta solució ens serveix es tractarà d'escollir la millor manera d'assignar-los, utilitzant els costos que els professors ens proporcionen. En cas contrari reprendrem l'etapa 1.

### **Fase 2: Factibilitat constriccions (11)**

Ens trobem davant d'una situació d'infactibilitat pels professors, és a dir, hi ha un professor que està donant a la mateixa hora dues classes a cursos diferents.

Per tal de solucionar aquest fet recorrerem als intercanvis entre mòduls, però aquest cop els farem dins del mateix dia. Seleccionarem un dels mòduls del professor en qüestió i es tracta d'identificar dins d'aquest mateix curs un altre mòdul de la mateixa durada i que es faci a la mateixa aula. Si és així l'intercanvi serà vàlid, en cas contrari anirem al curs on es fa l'altre mòdul del professor i repetirem el procés.

#### **3.3.2. Esquema de l'heurística utilitzada**

Per  $k=1,5$

Mentre solució actual no factible fer:

    Aplicar fase 1

    Aplicar fase 2

Fmentre

Fper.

Fase 1:

Construir:

L1: índexs dels mòduls assignats a l'aula de laboratoris 1.

L2: índexs dels mòduls assignats a l'aula de laboratoris 2.

T: índexs dels mòduls assignats a l'aula de teoria.

P1: Permutacions sense repetició d'elements de L1 ordenades per costos creixents.

P2: Permutacions sense repetició d'elements de L2 ordenades per costos creixents.

Si solució no factible per laboratoris fer:

    Aplicar Etapa 1

    Aplicar Etapa 2

FSi

Fase 2:

Siguin:

D el conjunt d'índexs de dies de la setmana

$P = \{1, \dots, P\}$  el conjunt d'índexs de professors.

$\forall p \in P, d \in D, h=1,2,3$ . sigui:

$M_{ph}^d$  el conjunt de mòduls d'assignatures del curs  $h$  assignats al professor  $p$  el dia  $d$ .

Per  $d=1,5$  fer

Per  $p=1,P$

Per  $k=1,10$  fer

Si  $\sum_{h=1}^3 \sum_{j \in M_{ph}^d} F_{jkh} > I$   $\left( \begin{array}{l} \text{Mes d' un mòdul impartit pel professor } p \\ \text{en el bloc horari } k \end{array} \right)$  Fer

    Buscar en el mateix dia  $d$  un altre mòdul assignat a un altre professor adequat per fer l'intercanvi.

    Actualitzar el curs modificat.

    FSi

    Fper

    Fper

FPer

Etapa 1:

Identificar 1r element de P1 i 1r element de P2.

Mentre solució no factible per laboratoris fer:

    Seleccionar següent ordre d'assignació

    Establir horari d'impartició dels mòduls

FMentre

Etapa 2:

Si solució infactible pels mòduls de teoria fer:

    Tornar a l'etapa 1

    Sinó

        Escollir millor ordre d'assignació pels elements de T

        Assignar-los

FSi

**Figura 5. Heurística de l'assignació a hores.**



## 4. DESCRIPCIÓ DE L'APLICACIÓ INTERACTIVA

Recollirem el procés realitzat en una aplicació interactiva que servirà d'interfície amb l'usuari. D'aquesta manera, l'usuari podrà treure partit de les possibilitats del nostre sistema d'una manera clara i ràpida. L'aplicació englobarà la recollida de dades, l'execució del procés i la visualització dels resultats obtinguts.

Si es dóna una ullada a l'aplicació observarem el caràcter interactiu i flexible que mostra; així podrem aprofitar les possibilitats del sistema que hem implementat. La idea és que, un cop introduïdes les dades per una primera assignació, es puguin realitzar certs canvis sense la necessitat de tornar a introduir tot el conjunt de les dades. Es recuperarà el fitxer adequat i es procedirà a modificar-lo després de veure el resultat aconseguit, obtenint una altra solució en funció d'aquesta modificació. Així, es dóna la possibilitat d'anar fent petites modificacions si la solució obtinguda és vàlida en general però té algun aspecte que hauria de ser revisat. D'altra banda, es mantindran les diferents solucions trobades, per poder fer comparacions si s'escau, i les dades originals per cada una de les solucions. També cal destacar la possibilitat que es dóna de modificar les dades del pla d'estudis si aquest pateix alguna modificació.

A continuació adjuntarem una guia perquè l'usuari pugui utilitzar l'aplicació sense cap tipus de problema.

### 4.1. GUIA DE L'USUARI

S'ha optat per escollir el programa Visual Basic 5.0 per a construir la interfície.

D'entrada parlarem de l'usuari. Qualsevol persona, amb tota la informació necessària, pot utilitzar aquesta aplicació. No és imprescindible conèixer el problema a fons i, amb l'ajuda d'aquesta guia, no hi haurà excessives dificultats. La idea és que la mateixa persona que s'ocupa de recollir la totalitat de la informació sigui qui introdueixi les dades. Recordem que cada assignatura té un seguit de paràmetres que el professor ha de donar, els quals tenen les seves restriccions. És per això que és important que qui reculli la informació sàpiga de què s'està parlant, per no haver de canviar a posteriori totes les dades prèviament recollides. Un cop es disposin de les dades necessàries, ja podem iniciar la introducció d'aquestes.

La nostra pantalla principal tindrà les següents opcions:

**Introducció de noves dades:** Es procedeix a la introducció de les dades necessàries per a poder executar el problema. És la part més complexa tenint en compte la quantitat de paràmetres de què depèn el nostre sistema. Un cop introduïdes totes les dades les podrem guardar per tal d'executar-les en el moment que desitgem.

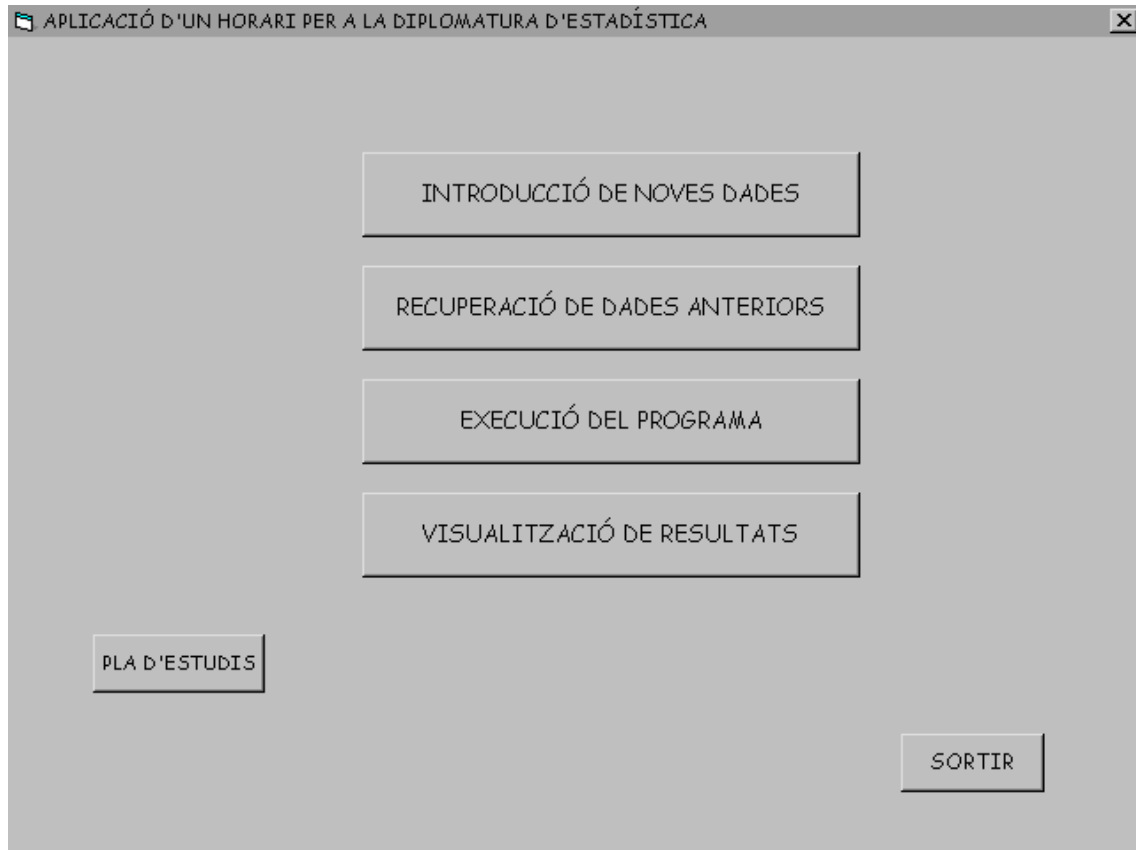
**Recuperació de noves dades:** Servirà per recuperar o modificar dades introduïdes anteriorment.

**Execució del programa:** S'executarà el programa per aquelles dades especificades i la solució es guardarà en un fitxer.

**Visualització de resultats:** Triarem el fitxer de resultats per tal de visualitzar-lo.

**Pla d'estudis:** En aquest apartat podrem modificar els paràmetres del pla d'estudis si s'escau.

**Pantalla principal:**



**INTRODUCCIÓ DE NOVES DADES:**

Informarem prèviament sobre el quadrimestre que tractarem. Haurem d'introduir les dades per cada un dels tres cursos de la Diplomatura, però l'ordre no està definit. L'important és que a l'hora de validar la totalitat de les dades els tres cursos estiguin introduïts, en cas contrari l'aplicació no permetrà la validació.

Cal destacar les particularitats de cada un d'ells; primer i segon curs funcionen de la mateixa manera però tercer té unes variants diferents als altres cursos. Començarem explicant la manera de procedir pels dos primers cursos, i després ho farem extensiu a tercer.

Premem el botó de primer o segon. Ens trobarem amb la següent composició:

PRIMER QUATRIMESTRE - ASSIGNATURES DE PRIMER:

ASSIGNATURA: 26252-Àlgebra 1

ESTIMACIÓ DEL NOMBRE D'ALUMNES: 55

ESPECIFICACIONS ASSIGNATURA

ASSIGNATURES INTRODUÏDES:

26250-Anàlisi Matemàtica 1  
26251-Càlcul de Probabilitats

MODIFICAR

ACCEPTAR

CANCEL·LAR

Anem introduint una assignatura darrera l'altre fins que el nombre d'assignatures introduïdes coincideixi amb les que corresponen per aquest quadrimestre i curs. Podrem anar visualitzant les assignatures ja introduïdes en el quadre inferior. D'aquesta manera l'usuari tindrà clar cada vegada en quin moment està. Òbviament es dona la opció de modificar les dades introduïdes.

Concretament, per cada assignatura necessitem el codi i el nom d'aquesta, els quals s'escolliran d'entre una llista de totes les assignatures del curs corresponent, i una estimació del nombre d'alumnes que s'espera que es matriculin. Un cop introduïts aquests valors pitjarem "especificacions de l'assignatura".

Com sabem, hi ha algunes assignatures que fan alguns mòduls d' hora b. Per aquelles assignatures que tinguin aquesta opció es demanarà el nombre d'hores dedicades a la meitat dels alumnes que s'ha decidit impartir. En cas de fer-se dues hores d'aquestes característiques es preguntarà sobre la opció de fer-les seguides o en mòduls d'1 hora.

A continuació procedirem a entrar la informació d'aquest tipus de mòduls:

Àlgebra I:

MÒDULS D'HORA B PER L'ASSIGNATURA ÀLGEBRA I:

PROFESSOR DE LES HORES B: A.A.A.A.

PENALITZACIONS PROFESSOR

PRIMERA HORA B:

AULA CLÀSSICA  LABORATORI

SEGONA HORA B:

AULA CLÀSSICA  LABORATORI

ACCEPTAR

CANCEL·LAR

Cal introduir el professor que donarà aquest tipus de mòduls i quina o quines (en cas de 2 mòduls d'hora b) seran les aules triades per a realitzar la classe.

Pel professor escollit ens demanarà les penalitzacions associades:

Penalitzacions:

PENALITZACIONS A DIES:

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
	4	2	1	2	5

PENALITZACIONS A HORES:

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
PRIMERES HORES	2	4	3	5	1
ÚLTIMES HORES	2	1	3	1	5

ACCEPTAR CANCEL·LAR

**Penalitzacions a dies:**

Introduïrem per cada un dels dies de la setmana una penalització que reflectirà la intenció del professor de fer classe en aquell dia. Condicions de les penalitzacions:

- Les penalitzacions es mouran dins l'interval [1,5].
- S'ha acordat que no hi pot haver més de dos penalitzacions iguals en el conjunt dels cinc dies. D'aquesta manera s'intenta evitar que es castigui molt un mateix dia, o a l'inrevés.

**Penalitzacions a hores:**

S'ha optat per dividir l'interval on es fa la classe amb dues franges horàries, la franja de les primeres hores i la restant. S'introduirà una penalització per cada una de les franges, i es repetirà pels cinc dies de la setmana. En total tindrem 10 valors. Les penalitzacions també hauran d'estar dins l'interval [1,5] però no existeix cap altre tipus de restricció, es poden repetir.

Anirem acceptant fins que ens aparegui la següent pantalla:

ÀLGEBRA I:

MÒDULS DE TEORIA PER L'ASSIGNATURA ÀLGEBRA I:

PROFESSOR DE L'ASSIGNATURA: BBBBB

PENALITZACIONS PROFESSOR

HORES DE CLASSE A REALITZAR A LA SETMANA: 3

NOMBRE DE MÒDULS A LA SETMANA: 2

MÒDULS

ACCEPTAR

CANCEL·LAR

Es tracta d'introduir tota la informació que falta per cada una de les assignatures. En els casos on no existeixin mòduls d'hora b, el botó "especificacions de l'assignatura" ens conduirà directament aquí, on introduïrem la totalitat de la informació necessària per l'assignatura.

D'entrada hem d'informar qui serà el professor titular de l'assignatura, i en funció d'aquest totes les penalitzacions associades (apareixerà la mateixa pantalla que anteriorment).

"Hores de classe a realitzar a la setmana" ens informa de les hores que tindrà aquella assignatura a la setmana, calculades a partir del nombre de crèdits que té aquesta, o de les que ens queden per introduir. Recordem que en algun cas ja haurèm introduït una part de l'assignatura, la dels mòduls d'hora b i aquestes hores s'hauran de restar a les hores totals de l'assignatura.

Amb aquesta dada el professor ha de decidir amb quants mòduls voldrà repartir les hores de què disposa. És important recordar que aquest paràmetre dependrà de les durades de cada un dels mòduls.

Un cop haguem introduït el nombre de mòduls, no abans, anirem a “mòduls” on ens demanaran la informació que ens falta.

The screenshot shows a window titled "Mòduls:" with a close button in the top right corner. It contains four configuration panels for modules, arranged in a 2x2 grid. Each panel has a title and two sub-sections. The "Segon mòdul:" panel has the "1,5 hores" radio button selected. At the bottom of the window are two buttons: "ACCEPTAR" and "CANCEL·LAR".

Cada mòdul es realitzarà a una aula determinada i durarà un temps concret. Només es podrà introduir aquesta informació per tants mòduls com s’hagi especificat anteriorment. La suma de les durades de tots els mòduls ha de coincidir amb les hores que ens quedaven per assignar. En cas contrari es permetrà tornar a canviar el nombre de mòduls fins que les durades quadrin.

Si la opció triada és la de l’aula de laboratoris, en funció de l’estimació d’alumnes introduïda anteriorment se n’assignarà una o l’altra. (El tamany de les aules de laboratori no és el mateix, n’hi ha una que no es pot assignar si el nombre d’alumnes no és inferior a un valor determinat).

Un cop introduïdes totes aquestes característiques de manera correcta anirem acceptant fins que ens trobem amb la opció d’escollir el curs, i seguirem el mateix procediment pels cursos que ens queden.

Tercer ofereix una variació, per aquest curs caldrà introduir el bloc d’especialització per cada una de les assignatures.

Un cop finalitzats els tres cursos ja podem guardar les dades i executar-les.

**RECUPERACIÓ DE DADES ANTERIORS:**

En cas de voler fer alguna modificació o executar fitxers de dades inicials que estan ja introduïts, anirem a la segona de les opcions on ens preguntarà pel fitxer, creat en la primera opció, que volem modificar. Seguirem el mateix procés que en la primera opció, però en aquest cas per defecte ens sortiran les dades recuperades i podrem modificar els valors que desitgem.

**EXECUCIÓ DE RESULTATS:**

Primer de tot ens demanarà el fitxer de dades a partir del qual volem fer l'assignació, que prèviament haurem introduït. El fitxer inicial tan sols es podrà guardar si hem finalitzat la introducció de totes les dades correctament, per tant, el programa tant sols s'executarà si tenim un fitxer de dades correcte. Es guardarà la solució en un fitxer de resultats. Un cop finalitzada l'execució se'ns informarà del nom d'aquest fitxer.

**VISUALITZACIÓ DE RESULTATS:**

Escollim el nom del fitxer que volem visualitzar i obtindrem una graella per cada curs amb l'horari resultant de l'assignació. Un exemple per primer curs seria:

	DILLUNS	DIAMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Fonaments d'informàtica	Anàlisi Matemàtica I	Fonaments d'informàtica Aula 1	Anàlisi Matemàtica I	Fonaments d'informàtica
16:00	Aula 0	Aula 0	Càlcul de probabilitats Aula 1	Aula 0	Aula 0
17:00	Àlgebra I Aula 0	Anàlisi Matemàtica I Aula 0 Àlgebra I Aula 0	Càlcul de probabilitats Aula 0	Càlcul de probabilitats Aula 0	Macroeconomia Aula 0
18:00	Fonaments d'informàtica Aula 1	Àlgebra I Aula 0	Aula 0	Anàlisi Matemàtica I Aula 0 Àlgebra I Aula 0	
19:00	Càlcul de probabilitats Aula 1	Aula 0	Macroeconomia Aula 0	Anàlisi Matemàtica I Aula 0 Àlgebra I Aula 0	



## 5. JOCS DE PROVES

A continuació veurem un seguit de proves del sistema per fer-nos una idea de quins resultats ens retornarà aquest. Concretament, a partir d'una solució obtinguda realitzarem certs canvis i observarem l'evolució que tindran els resultats.

Prenem les dades per un trimestre determinat:

PRIMER CURS:							
	durada:	aula:	hora b:		durada:	aula:	hora b:
<u>1. Àlgebra 1:</u>	1,5	0	NO	<u>2. Anàlisi 1:</u>	1,5	0	NO
	1,5	0	NO		1,5	0	NO
	1	0	SI		1	0	SI
	1	0	SI		1	0	SI
<u>3. Fonaments d'informàtica i programació:</u>	1,5	0	NO	<u>4. Càlcul de probabilitats:</u>	1,5	0	NO
	1,5	0	NO		1,5	0	NO
	2	1	SI		2	1	SI
		durada:	aula:	hora b:			
<u>5. Macroeconomia:</u>		1,5	0	NO			
		1,5	0	NO			

SEGON CURS:							
	durada:	aula:	hora b:		durada:	aula:	hora b:
<u>1. Estadística matemàtica 1:</u>	2	0	NO	<u>2. Anàlisi 3:</u>	1,5	0	NO
	1,5	0	NO		1,5	0	NO
	1,5	0	NO		1	0	SI
					1	0	SI
<u>3. Complementos de prog. i bases de dades:</u>	1,5	0	NO	<u>4. Mostreig i recollida de dades 1:</u>	1,5	0	NO
	1,5	2	NO		1,5	0	NO
	1	0	SI		2	2	NO
	1	1	SI				
		durada:	aula:	hora b:			
<u>5. Control de qualitat:</u>		1,5	0	NO			
		1,5	0	NO			

TERCER CURS:					
	durada:	aula:		durada:	aula:
<u>1. Previsió i sèries temporals:</u>	2 1,5 1,5	2 0 0	<u>2. Anàlisi multivariant de dades:</u>	2 1,5 1,5	2 0 0
bloc temàtic: 1			bloc temàtic: 1		
<u>3. Disseny combinatoris:</u>	2 2	2 0	<u>4. Aplicacions a la prog.lineal:</u>	2 2	0 0
bloc temàtic: 2-3			bloc temàtic: 5		
<u>5. Aplicacions a la prog. no lineal:</u>	2 2	1 0	<u>6. Simulació:</u>	2 2 1	1 0 1
bloc temàtic: 5			bloc temàtic: 5		
<u>7. Enginyeria de la qualitat:</u>	2 2	2 0	<u>8. Complement macroeconomia:</u>	2 2	0 0
bloc temàtic: 2			bloc temàtic: 4		
			durada:	aula:	
	<u>9. Estadística de poblacions:</u>	1,5 1,5	0 0		
bloc temàtic: 4					
1: bloc comú.					
2: bloc de control de qualitat.					
3: bloc de bioestadística.					
4: bloc d'empreses i administració.					
5: bloc d'investigació operativa.					
6: bloc de complements.					

## 5.1. HORARI RESULTANT

### 5.1.1. PRIMER CURS

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Fonaments d'informàtica	Anàlisi Matemàtica I	Fonaments d'informàtica Aula 2	Anàlisi Matemàtica I	Fonaments d'informàtica
16:00	Aula 0	Aula 0	Càlcul de Probabilitats Aula 1	Aula 0	Aula 0
17:00	Àlgebra I Aula 0	Àlgebra I Aula 0 ----- Anàlisi M. I Aula 0 ----- Àlgebra I Aula 0	Càlcul de Probabilitats	Càlcul de Probabilitats Aula 0	Macroeconomia Aula 0
18:00	Fonaments d'informàtica Aula 2 ----- Càlcul de Probabilitats Aula 1	Anàlisi M. I Aula 0 ----- Àlgebra I	Aula 0	Àlgebra I Aula 0 ----- Anàlisi M. I Aula 0	
19:00		Aula 0	Macroeconomia Aula 0	Àlgebra I Aula 0 ----- Anàlisi M. I Aula 0	

Per la primera assignació ressaltarem els dies on hem assignat cada un dels mòduls de cada assignatura de primer curs per denotar el grau d'optimització assolit:

PENALITZACIONS A DIES PRIMER CURS:					
	dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
Assig 1	1	2	4	3	5
Assig 2	4	1	3	1	4
Assig 3	1	2	1	4	4
Assig 4	2	3	1	3	4
Assig 5	4	4	2	3	2

L'assignació per primer curs és una assignació molt satisfactòria. Quasi totes les assignatures tenen els seus mòduls assignats als dies amb les penalitzacions més baixes. L'única excepció és l'assignatura 3 que podria estar assignada al dimarts en comptes d'estar-ho al dijous, per tant el cost global resultant dista de l'òptim només dues unitats.

**5.1.2. SEGON CURS**

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Anàlisi M. III Aula 0 ----- C. P i B. De D Aula 1	Complements de programació i bases de dades	Anàlisi M. III Aula 0 ----- C. P i B. De D Aula 0	Anàlisi matemàtica III	Estadística Matemàtica I
16:00	Mostreig i recollida de dades	Aula 0	Anàlisi M. III Aula 0 ----- C. P i B. De D Aula 0	Aula 0	Aula 0
17:00	Aula 0	Control de qualitat	Complements de programació i bases de dades	Estadística Matemàtica I	Anàlisi M. III Aula 0 ----- C. P i B. De D Aula 1
18:00	Anàlisi matemàtica III  Aula 0	Aula 0	Aula 2	Aula 0	Mostreig i recollida de dades
19:00		Estadística Matemàtica I	Control de qualitat	Mostreig i recollida de dades	Aula 0
		Aula 0	Aula 0	Aula 1	

Observem els resultats per segon:

PENALITZACIONS A DIES SEGON CURS:					
	dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
Assig 1	5	1	4	4	3
Assig 2	5	2	3	4	5
Assig 3	4	1	1	3	4
Assig 4	3	2	4	1	5
Assig 5	5	1	1	3	4

En aquest cas no obtenim una assignació tant bona com en el cas de primer; per aquestes assignatures els professors han coincidit bastant en els dies que volien fer les classes; a tall d'exemple es podria destacar el dimarts, on el cost més alt és 2. A causa d'això, hi ha alguns mòduls que no han pogut ser assignats en la millor opció.

**5.1.3. TERCER CURS**

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Simulació Aula 0 -----	Aplicacions a la programació no lineal Aula 0 -----	Dissenys combinatoris Aula 0 -----	Previsió i sèries temporals	Dissenys combinatoris Aula 2 -----
16:00	Enginyeria de la qualitat Aula 2	Complements de macroeconomia Aula 0	Aplicacions a la programació lineal Aula 0	Aula 2	Aplicacions a la programació lineal Aula 0
17:00	Previsió i sèries temporals	Anàlisi Multivariant de dades	Anàlisi Multivariant de dades	Simulació Aula 1 -----	Previsió i sèries temporals
18:00	Aula 0	Aula 2	Aula 0	Enginyeria de la qualitat Aula 0	Aula 0
19:00	Anàlisi Multivariant de dades Aula 0	Simulació Aula 1	Aplicacions a la programació no lineal Aula 0 -----	Estadística de poblacions	Estadística de poblacions Aula 0
20:00			Complements de macroeconomia Aula 0	Aula 0	

Per tercer obtenim:

PENALITZACIONS A DIES TERCER CURS:					
	dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
Assig 1	4	4	2	1	5
Assig 2	3	1	2	5	5
Assig 3	5	4	1	3	4
Assig 4	4	2	2	1	5
Assig 5	3	1	2	2	5
Assig 6	2	3	4	1	5
Assig 7	4	3	2	1	5
Assig 8	3	1	1	2	4
Assig 9	4	4	1	1	1

És també una assignació bastant bona; si observem assignatura per assignatura quasi tots els mòduls estan assignats als dies de cost més baix.

Tanmateix, i sobretot a divendres, hi ha assignats mòduls amb costos bastant alts, d'altra banda no pot ser de cap altra manera perquè aquest dia tan sols és demandat per una assignatura., la 9.

## 5.2 MODIFICACIONS

### 5.2.1 PRIMER CANVI

Imaginem-nos que l'assignatura Àlgebra 1 de primer curs pateix un canvi a l'últim moment i se li assigna un altre professor.

Inicialment els mòduls d'Àlgebra 1 estan assignats a dilluns, dimarts i dijous respectivament. Però el nou professor no coincideix amb les disponibilitats del professor anterior i el dilluns no pot realitzar la classe, d'altra banda, el divendres sí que té una disponibilitat.

<u>Costos d'Àlgebra I:</u>				
dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
1	2	4	3	5

Intercanviem els costos de dilluns i divendres per aquesta assignatura:

<u>Costos d'Àlgebra I:</u>				
dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
5	2	4	3	1

Tornem a executar el programa per tal de veure quin resultat provoca el canvi proposat a primer curs:

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Càlcul de Probabilitats	Anàlisi Matemàtica I	Càlcul de Probabilitats Aula 1	Anàlisi Matemàtica I	Àlgebra I
16:00	Aula 0	Aula 0	----- Fonaments d'informàtica Aula 2	Aula 0	Aula 0
17:00	Fonaments d'informàtica	Àlgebra I Aula 0	Càlcul de Probabilitats	Macroeconomia	Macroeconomia
	Aula 0	----- Anàlisi M. I Aula 0			
18:00	Càlcul de Probabilitats Aula 1	Àlgebra I Aula 0	Aula 0	Àlgebra I Aula 0	
19:00	----- Fonaments d'informàtica Aula 2	Àlgebra I Aula 0	Fonaments d'informàtica	----- Anàlisi M. I Aula 0	
			Aula 0	Àlgebra I Aula 0	
				----- Anàlisi M. I Aula 0	

La reestructuració de l'assignatura és igual a la d'abans amb l'excepció del mòdul que preteníem canviar, que ha passat de dilluns a divendres, tal i com esperàvem. La nova assignació és òptima pel nou professor.

Després de fer la modificació esmentada veiem com queden els costos:

PENALITZACIONS A DIES PRIMER CURS:					
	dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
Assig 1	5	<b>2</b>	4	<b>3</b>	<b>1</b>
Assig 2	4	<b>1</b>	3	<b>1</b>	4
Assig 3	<b>1</b>	2	<b>1</b>	4	4
Assig 4	<b>2</b>	3	<b>1</b>	3	4
Assig 5	4	4	2	<b>3</b>	<b>2</b>

El nou repartiment assolit un cop modificats els costos de la primera assignatura és encara millor que l'anterior. Com en l'altre cas hi ha una assignatura, la cinquena,

que podria estar assignada el dimecres en comptes del dijous. Però la diferència entre ambdós costos d'aquests dies és d'una unitat, en el cas anterior la diferència era de dues unitats.

### 5.2.2 SEGON CANVI

Per tal de veure quins efectes produeixen les penalitzacions a hores que els professors ens proporcionen imaginem ara que el professor de l'assignatura 9 de tercer, Estadística de Poblacions, que inicialment disposava de les últimes hores del dia per fer les classes de la seva assignatura no pot finalment cursar la classe el divendres a última hora, però si que ho podrà fer més d'hora. Per aquest dia teníem uns costos d'1 i 5 respectivament per cada franja horària, provarem de variar-los assignant un cost de 5 per la primera franja i un cost d'1 unitat per la darrera amb l'objectiu d'aconseguir que l'assignatura es desplaci a una altra franja horària.

Si executem el programa amb aquests canvis observem el nou horari que ens queda per tercer:

	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
15:00	Simulació Aula 0	Aplicacions a la programació no lineal Aula 0	Dissenys combinatoris Aula 0	Previsió i sèries temporals	Estadística de poblacions
16:00	Enginyeria de la qualitat Aula 2	Complements de macroeconomia Aula 0	Aplicacions a la programació lineal Aula 0	Aula 2	Aula 0
17:00	Previsió i sèries temporals	Anàlisi Multivariant de dades	Aplicacions a la programació no lineal Aula 0	Simulació Aula 1	Aplicacions a la programació no lineal Aula 0
18:00	Aula 0	Aula 2	Complements de macroeconomia Aula 0	Enginyeria de la qualitat Aula 0	Complements de macroeconomia Aula 0
19:00	Anàlisi Multivariant de dades Aula 0	Simulació Aula 1	Anàlisi Multivariant de dades	Estadística de poblacions	Previsió i sèries temporals Aula 0
20:00			Aula 0	Aula 0	



El canvi ha estat realitzat sense problemes, ara Estadística de poblacions serà la primera assignatura que es cursarà el divendres.

Es pot veure que aquest sistema ens aporta molta flexibilitat i, a part de proporcionar-nos un horari factible i tant bo com és possible, és capaç d'assumir qualsevol canvi d'última hora sense gaires problemes.

## **CONCLUSIONS**

En aquesta memòria queden recollits els aspectes importants que s'han tractat per assolir el sistema d'elaboració d'horaris de la Diplomatura. Després de fer una breu introducció al problema hem establert les bases d'aquest, donant especial interès a les restriccions de recursos que teníem i a les possibilitats que el sistema donaria a l'usuari. Tot seguit hem exposat els models matemàtics a partir dels quals basaríem la resolució, els objectius i les constriccions de cada un. Un cop vista la part teòrica hem procedit a explicar de quina forma trobaríem solucions per cada un dels models especificats; la utilització de les heurístiques. Finalment adjuntem una guia perquè l'usuari pugui interactuar amb l'aplicació sense problemes importants i veiem alguns exemples del que el programa és capaç de retornar com a solució.

Tradicionalment es pot afirmar que la construcció d'un horari d'aquestes característiques ha estat un problema d'una gran envergadura i és difícil trobar una solució que aconsegueixi assumir les disponibilitats de cada un dels implicats. En aquest tipus de processos és important entendre que no existeix una solució única i òptima. Hi ha moltes maneres de procedir, però cap és perfecta.

Per això és important no anteposar les qüestions individuals per sobre de les col·lectives. Precisament si es mira per una satisfacció col·lectiva s'aconseguirà que individualment s'assoleixi la sensació de que l'horari respon a les necessitats d'un mateix. I és això el que s'ha intentat fer en tot moment.

De fet, la intenció d'automatitzar aquest procés no ha estat tant la d'aconseguir trobar solucions millors i absolutament òptimes, sinó la de facilitar l'execució retornant solucions factibles tan bones com els recursos existents ho han permès. És un element que servirà d'ajuda a la tasca de realització d'un nou horari; en alguns casos la solució aconseguida ja serà satisfactòria, però en d'altres caldrà fer petits retocs que milloraran la qualitat del resultat. L'avantatge és que podrem usar el sistema per fer aquests retocs, que en cas d'haver-se de fer manualment requeririen invertir molt de temps.

Una de les idees bàsiques era mantenir la filosofia actual de la Diplomatura intacte i això ha sigut la opció més complicada. Certs aspectes ens han obstaculitzat molt les coses; la quantitat de restriccions i variables juntament amb molts casos concrets que necessitaven d'un tractament especial han transformat el procés de programació en un procés llarg i feixuc, important. Però com ja hem dit, creiem que era important que es disposés de totes les possibilitats que ens ofereix actualment la Diplomatura i s'han tingut en compte tots i cada un dels matisos que hem anat trobant, sense deixar-nos res per analitzar i posteriorment aplicar.

D'altra banda, s'ha d'apuntar que el sistema en si dóna molt més joc que el que permet el pla d'estudis actual. Molts dels paràmetres usats venen marcats per definició del pla d'estudis: el nombre de crèdits, les hores de pràctiques... Tanmateix, si es produeixen certs canvis en el pla d'estudis per aquests paràmetres, el sistema és capaç de respondre positivament donant una solució concreta i igual de bona que les actuals. Ja hem dit que la flexibilitat és una característica important d'aquesta aplicació.

En definitiva, creiem que és un bon sistema i que engloba tots els aspectes bàsics que ha de tenir un horari; ens assegura la factibilitat del resultat alhora que ens calcula quina serà aquella solució més òptima en funció de les fortes restriccions a tenir

en compte, està totalment ubicat a la Diplomatura d'Estadística responent a totes les condicions que existeixen en ella, és de fàcil aplicació i pensem que la seva utilització pot beneficiar la Diplomatura alleugerant aquest procés d'elaboració dels horaris.

## **BIBLIOGRAFIA**

Winston, W.L.: *Introduction to Mathematical Programming: Applications and Algorithms*. Ed. PWS-KENT Publishing Company, 1991.

Williams, H.P.: *Model Building in Mathematical Programming*. Ed. John Wiley and sons, 1993.

Enciclopedia de Visual Basic. Francisco Javier Ceballos Sierra. Ed. RA-MA.

Guia docent 98-99. Diplomatura d'Estadística. Servei de publicacions de la UPC, 1998.