

Resum

El projecte tracta el tema de l'assignació de tasques a personal polivalent dins de l'entorn de la organització del temps de treball. L'assignació consisteix en assignar n tasques a n treballadors subjectes a determinades restriccions i on es pretén optimitzar la utilització de recursos.

L'objectiu del projecte consisteix en la creació d'una eina que permeti realitzar l'assignació de tasques a personal polivalent mitjançant múltiples criteris.

Per tal d'assolir l'objectiu hem modelitzat el problema mitjançant programació lineal entera i mixta, hem implementat el model creat mitjançant el paquet ILOG-CPLEX, hem realitzat diferents experimentacions amb la finalitat de validar el model i comprovar que les experimentacions es realitzen en temps raonables i finalment hem aplicat el model a un cas real per a veure l'aplicació directa de l'eina.

El resultats obtinguts han estat satisfactoris doncs l'eina creada realitza l'assignació de tasques satisfent els requisits o criteris marcats per diferents tipologies i dimensió d'empreses i en uns temps raonables.

Pel que fa a les conclusions, destaquem que el model creat és un model genèric que no està pensat per a cap empresa ni sector en concret. Creiem que pot suposar un bon punt de partida per a posteriors estudis en aquest camp, però considerem que en el cas que es volgués implantar en una empresa o sector concret, s'haurien d'estudiar les característiques específiques del mateix definint noves restriccions i/o funcions objectius a fi de focalitzar-lo molt més.





Sumari

| | |
|---|-----------|
| RESUM | 1 |
| SUMARI | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓ | 7 |
| 1.1. Objectiu | 7 |
| 1.2. Abast | 7 |
| 1.3. Origen i relació amb altres treballs | 7 |
| 1.4. Motivació | 8 |
| 1.5. Metodologia | 8 |
| 1.6. Contingut del projecte | 9 |
| 2. ORGANITZACIÓ DEL TEMPS DE TREBALL | 11 |
| 2.1. Planificació | 13 |
| 2.2. Programació | 13 |
| 2.3. Assignació | 14 |
| 2.4. Conceptes associats | 15 |
| 2.4.1. Flexibilitat | 16 |
| 2.4.2. Anualització de la jornada laboral | 18 |
| 2.4.3. Polivalència | 19 |
| 3. MODELITZACIÓ Y RESOLUCIÓ | 21 |
| 3.1. Modelització | 22 |
| 3.1.1. Realitat del problema a resoldre | 22 |
| 3.1.2. Observadors del problema. Criteris de disseny | 23 |
| 3.1.3. Descripció del model | 26 |
| 3.2. Resolució | 38 |
| 3.2.1. Mètodes de resolució de PPLEMs | 38 |
| 3.2.2. Modelització de problemes mitjançant l'OPLStudio, ILOG-CPLEX | 39 |
| 4. EXPERIMENTACIÓ | 41 |
| 4.1. Introducció | 41 |
| 4.2. Generació de les dades | 41 |
| 4.3. Procés d'experimentació | 44 |
| 4.4. Resultats i conclusions de l'experimentació | 46 |
| 5. VALIDACIÓ DEL MODEL AMB L'APLICACIÓ A UN CAS REAL | 51 |
| 5.1. Descripció de l'empresa | 52 |



| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.1.1. | Procés de fabricació..... | 52 |
| 5.1.2. | Antecedents i motivacions | 54 |
| 5.2. | Condicions de partida al problema | 56 |
| 5.3. | Anàlisi dels resultats de l'assignació amb criteris dominants | 62 |
| 5.3.1. | Assignació per al cas amb la funció objectiu 1 dominant | 62 |
| 5.3.2. | Assignació per al cas amb la funció objectiu 2 dominant | 63 |
| 5.3.3. | Assignació per al cas amb la funció objectiu 3 dominant | 65 |
| 5.3.4. | Assignació per al cas amb la funció objectiu 4 dominant | 66 |
| 5.4. | Anàlisi dels resultats de l'assignació amb llista de prioritat de criteris | 68 |
| 6. | ESTUDI ECONÒMIC | 71 |
| 6.1. | Costos de realització del projecte | 71 |
| 6.2. | Viabilitat econòmica del projecte | 72 |
| 6.2.1. | Pla d'empresa..... | 73 |
| 6.3. | Cost i benefici d'implantació del model a les empreses | 81 |
| | CONCLUSIONS | 83 |
| | AGRAÏMENTS | 85 |
| | BIBLIOGRAFIA | 87 |
| | Referències bibliogràfiques | 87 |
| | Bibliografia complementària | 87 |



ANNEXES

- A. Glossari multicriteri
- B. Traducció del model al llenguatge de programació de l'OPLStudio
- C. Taula de dades de l'experimentació
- D. Resultats de l'experimentació amb la variació de paràmetres d'entrada
- E. Resultats de l'aplicació del model a una empresa de producció
- F. Resultats de l'aplicació del model a una empresa de serveis





1. Introducció

1.1. Objectiu

L'objectiu del projecte consisteix en el disseny d'un model que permeti resoldre el problema de l'assignació de tasques a personal polivalent mitjançant múltiples criteris en el marc de l'organització del temps de treball

1.2. Abast

L'abast del projecte va des de l'estudi i modelització del problema de l'assignació de tasques fins a la implementació del model amb el programa ILOG-CPLEX i les experimentacions del mateix amb casos reals.

No hem creat cap software o programa específic, sinó que hem utilitzat el paquet ILOG-CPLEX com a suport per a resoldre el nostre model.

El programa pot ser utilitzat per empreses que disposin de personal polivalent, ja sigui total o parcialment. Pel que fa al sector d'aplicació, pot resultar de gran interès per empreses que tinguin una demanda no constant. Pot ser utilitzat tant per empreses de serveis com per empreses manufactureres tenint en compte les particularitats de cada sector.

1.3. Origen i relació amb altres treballs

En arribar a l'etapa de l'assignació es coneix el personal present a cada instant de temps i les seves característiques, així com la demanda de treball i particularitats de les tasques. El projecte consisteix en resoldre l'assignació de tasques en un horitzó de planificació determinat.

En el marc de l'Organització del temps de treball es consideren 3 etapes relacionades: planificació, programació i assignació de tasques.

Amb aquest projecte pretenem complementar les tesis doctorals existents "*Planificación del tiempo de trabajo con jornada anualizada*" d'Amaia Lusa Garcia, "*Programación de horarios*



semanales de trabajadoras polivalentes en un centro de servicios” de Jordi Ojeda Rodríguez i “*Asignación multicriterio de tareas a personal polivalente*” de Ericka Zulema Rodríguez Calvo, aquesta última en procés de realització.

1.4. Motivació

Existeixen múltiples factors que ens motiven a l'estudi dels problemes relacionats amb l'organització del temps de treball (com és l'assignació de tasques) i a la cerca de metodologies i eines que ens permetin una ràpida i efectiva resolució d'aquests problemes. Alguns d'aquests factors són:

- La contínua evolució en l'àmbit del treball, que obliga a una constant adaptació de les condicions de treball.
- Variabilitat de la demanda en un gran nombre de feines.
- L'interès per part de les empreses de flexibilitzar els llocs de treball.
- L'interès per part dels treballadors de recórrer a situacions de flexibilitat laboral.
- La legislació laboral que permet l'ús flexible de treballadors.

1.5. Metodologia

Per tal de resoldre el problema de l'assignació de tasques amb personal polivalent hem seguit les següents etapes:

- Estudi i modelització del problema de l'assignació de tasques a personal polivalent amb múltiples criteris d'optimització mitjançant programació lineal entera i mixta.
- Utilització del programa ILOG-CPLEX per a la resolució dels models creats
- Disseny i desenvolupament d'experiments per a validar el programa
- Aplicació a un cas real
- Estudi econòmic



1.6. Contingut del projecte

El projecte està estructurat en capítols de la següent forma (veure índex):

1. **Resum**
2. **Introducció**
3. **Organització del temps de treball:** en aquest capítol fem una introducció al tema d'estudi: l'assignació de tasques a personal polivalent. Introduïm el tema de l'Organització del Temps de Treball (OTT) i el mètode de les tres fases: planificació, programació i assignació i comentem també alguns conceptes associats com la flexibilitat laboral, anualització de la jornada laboral i polivalència de treballadors.
4. **Modelització i resolució:** en aquesta fase hem fet un estudi del problema de l'assignació. Hem realitzat una modelització del problema i finalment l'hem implementat amb el paquet ILOG-CPLEX.
5. **Experimentació:** en aquesta etapa hem sotmès el model implementat amb ILOG-CPLEX a una àmplia experimentació a fi de conèixer els límits del programa, fent especial atenció al temps de resolució i a la influència de determinats paràmetres al model.
6. **Aplicació a un cas real:** en aquest capítol hem sotmès el model a una experimentació amb dades d'una empresa real a fi de validar el model i comprovar que funciona satisfactòriament segons els criteris definits.
7. **Estudi econòmic:** en aquest capítol ens centrarem en analitzar els aspectes econòmics que estan relacionats amb el projecte tals com els costos associats a la seva realització, la viabilitat de la seva sortida al mercat, o els beneficis que aportaria la seva aplicació a una empresa.





2. ORGANITZACIÓ DEL TEMPS DE TREBALL

Ens trobem en un món amb tendència a la globalització, això provoca canvis en els àmbits polític, econòmic i social. Entre totes les variacions produïdes, una de les més importants ha estat en l'àmbit del treball.

La mundialització de l'economia, l'impacte de les noves tecnologies en el treball, la societat i les persones, l'envelliment de la població, la incorporació de la dona al treball i la taxa d'atur s'han combinat per crear tensions en els àmbits econòmic i social dels països desenvolupats.

Màquines i sistemes s'han tornat flexibles i les persones han seguit aquest mateix camí. Si les màquines s'adapten i es reconverteixen, les persones que les usen també han de fer-ho.

La previsibilitat de la demanda és un factor vital per realitzar la producció de la manera més eficient possible. Al sector serveis li permet determinar amb força fiabilitat el flux i la intensitat de l'activitat en cada moment.

En les últimes dècades, el sector terciari ha crescut molt en els països industrialitzats; s'estima que aproximadament dos terços dels treballadors d'aquests països pertanyen al sector serveis.

Davant aquest avanç espectacular apareixen noves problemàtiques associades a les característiques particulars d'aquest sector. Una d'elles consisteix en gran quantitat de serveis que tenen una demanda variable o no uniforme .

Per fer front a la variabilitat de la demanda existeixen dues possibilitats [Lusa A., 2003]:

- Crear estocs, en èpoques de baixa demanda (cas productiu)
- Adaptar la capacitat productiva a la demanda

Una de les característiques dels serveis és que no poden emmagatzemar-se, per tant en una empresa del sector serveis, la única manera de fer front a una demanda variable és adaptar la capacitat productiva a aquesta demanda.

En el moment actual la previsió de la demanda és complicada, de tal manera que la supervivència de l'empresa depèn principalment de la seva capacitat per adaptar-se quan abans possible a les condicions canviants del mercat i la competència.

La producció ha de modificar-se de manera constant o periòdica, per fer front a les fluctuacions de la demanda, exigint la màxima flexibilitat dels treballadors. Aquest tipus de



formulació resultaria impossible sense un quadre de personal capaç d'adaptar-se permanentment a les noves idees adoptades i de participar en l'organització.

La Organització del Temps de Treball (OTT) és una eina de vital importància per intentar adaptar-se a la variabilitat d'aquesta demanda. La determinació de la jornada anual, setmanal o diària és un problema tradicional de la OTT.

La Organització del Temps de Treball pretén conciliar les exigències productives de l'empresa amb les necessitats dels treballadors.

Els diferents aspectes que es consideren en la OTT es van introduir en les relacions laborals i en d'altres aspectes de la vida civil de manera progressiva [Corominas i Crespán, 1993]. Es considera la importància de l'OTT en les relacions laborals des d'una triple vessant:

- Des del punt de vista social: les institucions estan cada vegada més sensibilitzades per la incidència de la distribució del temps de treball en la vida social, familiar i ciutadana.
- Des del punt de vista empresarial: va en augment la conscienciació de molts directius sobre la necessitat de dedicar més esforços a l'OTT. A mesura que les exigències econòmiques i tecnològiques obliguen a les empreses a implantar torns nocturns o a flexibilitzar la jornada dels treballadors, es generen problemàtiques en relació a la competitivitat, salut dels treballadors, absentisme, etc.
- Des del punt de vista dels treballadors: les organitzacions sindicals han mostrat tradicionalment certa resistència en front a canvis de context laboral. Determinades solucions en relació a l'OTT poden empitjorar les condicions laborals dels treballadors. Però és evident que la tendència va cap a una reducció de la jornada absoluta compatible amb la competitivitat del sistema productiu.

Algunes de les variables que cal considerar en l'OTT són: inici i final de la jornada diària; determinació de la jornada de treball; distribució de la jornada; mobilitat de la jornada, etc.

El problema del que tracta aquest projecte correspon a l'assignació de tasques, que és un dels aspectes de la Organització del Temps de Treball que consisteix en assignar n tasques a n treballadors polivalents subjectes a una sèrie de restriccions, i on es pretén optimitzar la utilització de recursos.

La OTT s'estructura en tres etapes relacionades jeràrquicament [Corominas i Pastor, 2000] : planificació, programació i assignació de tasques.



2.1. Planificació

En aquesta etapa s'ha de determinar quantes hores realitzarà cada treballador en cadascun dels períodes de l'horitzó de planificació.

Es tracta de determinar, conegudes la plantilla i les seves característiques (tipus de contracte, hores anuals, formació, etc) el nombre d'hores de presència de cada treballador en cadascuna de les setmanes de l'horitzó de planificació (incloent hores extres i necessitats de contractació temporal, si fos necessari). La planificació resultant serà la de mínim cost entre hores extres i contractació temporal.

Es parteix de la premissa que l'empresa disposa de previsions a partir de les quals es pot fer una estimació del nombre d'hores de treball necessari per a cada setmana i per a cada tipus de tasca.

A més les solucions haurien de satisfer una sèrie de condicions que constituïran les diferents restriccions: hores anuals contractades, nombre d'hores setmanals acotat inferiorment i superiorment, nombre de setmanes en que les hores treballades corresponen a uns certs intervals, nombre hores extraordinàries, repartiment càrrega de treball, etc.

2.2. Programació

En aquesta etapa s'ha de determinar l'horari de presència del personal en total d'hores de l'horitzó de planificació. Parteix del resultat obtingut a la planificació, és a dir el nombre total d'hores que realitzarà cada treballador en cadascuna de les setmanes de l'horitzó de planificació. El resultat d'aquesta etapa és l'horari de presència concret que ha de realitzar cada treballador en cadascuna de les setmanes de l'horitzó de planificació.

Respecte a la fase de programació algunes de les característiques a tenir en compte són les següents [Ojeda J., 2004]:

- Les condicions laborals: així podem parlar de setmana laboral comprimida (de tres o quatre dies laborables), programació del dia o dies de descans, diferent càrrega laboral entre setmana i cap de setmana, etc.
- Sector d'aplicació: destaquen els següents: sanitat, seguretat, supermercats o centres comercials, centres de trucades telefòniques, transports, sector automoció, empreses manufactureres diverses, etc.



Les condicions laborals i les característiques pròpies de cada sector proporcionen diferents maneres de plantejar la organització del temps de treball.

2.3. Assignació

En iniciar-se aquesta etapa es té coneixement del personal present en cada interval de temps.

En aquesta etapa, donada la previsió de la capacitat de treball necessària, s'ha de determinar quin tipus de tasques realitzarà cada treballador en cada interval de temps.

L'assignació consisteix en assignar les tasques respectant una sèrie de restriccions, com poden ser: nombre intervals seguits realitzant una mateixa tasca, temps ininterromput que ha de realitzar la mateixa tasca, intervals màxims realitzant la mateixa tasca, etc.

Aquestes restriccions també poden derivar-se d'alguna disposició legal, d'algun acord entre l'empresa i els treballadors o de requisits del sistema productiu.

El resultat d'aquesta etapa és l'assignació de tasques per a cada treballador en cadascun dels seus horaris de presència.

➤ Un exemple senzill del mètode de les tres fases podria ser el següent:

Planificació (determinació nombre hores a realitzar durant la setmana)

| | S1 | S2 | S3 | S4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| P1 | 40 | 35 | 38 | 42 |
| P2 | 37 | 37 | 41 | 40 |

Taula 2.1

Tal i com s'aprecia a la Taula 2.1, s'està realitzant la planificació de 4 setmanes de treball (S1, ..., S4) per a 2 persones (P1, P2). Per exemple P1, haurà de fer 40 hores durant la setmana 1, 35 hores durant la setmana 2, etc.



Programació (determinació horari presència)

| | Dilluns | Dimarts | Dimecres | Dijous | Divendres |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|
| P1 | 6 – 14 | 6 – 14 | 13 – 21 | 13 – 20 | 6 – 13 |
| P2 | 13 – 21 | 13 – 21 | 6 - 14 | 6 – 14 | 6 – 15 |

Taula 2.2

El punt de partida d'aquesta fase és el nombre d'hores a realitzar durant el període d'estudi (en aquest cas 1 setmana (S3)). Per exemple P1 ha de realitzar 38 hores durant S3 que s'han repartit com indica la taula.

Assignació (assignació de tasques als personal)

| | Dilluns | Dimarts | Dimecres | Dijous | Divendres |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|
| P1 | T1 | T1 | T2 | T2 | T3 |
| P2 | T2 | T3 | T1 | T3 | T1 |

Taula 2.3

Partint de l'horari de presència resultant de l'etapa anterior es tracta de determinar quines activitats realitzarà cada persona en cada interval de temps. Per exemple, P1 dilluns realitzarà la tasca 1. Aquesta assignació l'hem realitzada per un dia sencer de feina, però es podria fer per hores, mitja jornada, etc segons interressi.

2.4. Conceptes associats

Amb la finalitat d'introduir el tema del projecte farem una introducció a alguns conceptes lligats amb el tema (flexibilitat, polivalència, jornada anualitzada):



2.4.1. Flexibilitat

La flexibilitat és un concepte amb moltes interpretacions i dimensions.

La flexibilitat del treball és la capacitat que tenen les empreses d'adaptar-se als canvis en el seu medi empresarial, desenvolupant noves estructures i comportaments.

En aquest sentit, l'empresa serà més flexible quan millor pugui anticipar-se als canvis en l'entorn i prendre les mesures transformadores precises. Pel contrari, l'empresa serà més rígida quan no pugui preveure els moviments en el seu entorn i posseeixi menys capacitat per realitzar transformacions en les variables bàsiques de gestió.

Flexibilitat laboral: és defineix com el mode d'adequar eficientment els recursos humans disponibles i l'organització del treball a les variacions de la demanda de productes i serveis [Albizu E., 1997].

La flexibilitat laboral ha existit sempre: torns de treball, treballs de temporada, multiplicitat de contractes, etc. El que ha variat és la intensitat en la que aquestes formes de flexibilitat han consolidat la seva evolució. Les empreses han evolucionat utilitzant sistemàticament a treballadors sota noves modalitats "atípiques" o "flexibles".

Alguns autors presenten una classificació dels diferents tipus de flexibilitats que es resumeixen de la següent manera [Ruesga et al., 2002].

Flexibilitat externa: dintre la qual distingim:

- **Flexibilitat quantitativa externa:** fluctua el nombre de treballadors en funció de les necessitats de l'empresa a través de contractes de treball per temps limitat, acomiadaments, etc. Depèn dels procediments d'acomiadament. Es extrema en els països on es pot contractar i acomiadar lliurement sense importar la duració del treball però és pràcticament nul·la en aquells en que l'estatut protegeix als treballadors.
- **Externalització:** Consisteix en traslladar d'una empresa a una altra el vincle contractual amb el treballador. Es recorre a l'ús de la subcontractació i del prestamisme laboral. La subcontractació permet obtenir mà d'obra a cost més baix per tasques concretes, el que comporta la possibilitat d'externalitzar determinats costos i limitar la responsabilitat de l'empresa en la gestió laboral de la plantilla necessària.



Flexibilitat Interna: es refereix a diferents pràctiques laborals i de organització del treball realitzades dins les empreses, amb el seu propi personal. Distingim:

- **Flexibilitat quantitativa interna:** S'assoleix modificant la quantitat global de treball utilitzat, amb variacions en el temps efectiu de treball realitzat, així es pot recórrer a variacions col·lectives o individuals dels horaris de treball, treball a temps parcial, etc.
- **Flexibilitat funcional:** S'utilitza als treballadors en funcions variables segons les necessitats de l'empresa. La polivalència dels treballadors i equips permet crear les flexibilitats necessàries. Implica un esforç de formació professional amb la finalitat que els treballadors tinguin varies qualificacions. Implica també formes flexibles d'organització i gestió.
- **Flexibilitat salarial:** vincula els nivells retributius dels treballadors a l'evolució dels resultats empresarials.

Avantatges de la flexibilitat laboral.

- Adequació entre càrrega de treball i disponibilitat dels treballadors
- Millora de productivitat econòmica
- Flexibilitat en la programació de la producció
- Disminució de l'absentisme
- Increment dels llocs de treball
- Facilitat integració vida privada i laboral

Inconvenients de la flexibilitat laboral

- Majors costos de formació
- Majors necessitats de coordinació
- Treballs en els que no és fàcil aplicar aquestes modalitats
- Dificultats de previsió de les necessitats laborals



- Sous reduïts i beneficis socials menors

2.4.2. Anualització de la jornada laboral

L'anualització de la jornada laboral és una manera que tenen les empreses per assolir més flexibilitat i per tant d'adaptar la capacitat productiva a la demanda.

Consisteix en distribuir les hores anuals contractades de manera irregular durant l'any en funció de la demanda prevista. D'aquesta manera cada treballador pot realitzar horaris diferents durant l'any, respectant sempre requisits legals i de conveni.

En la classificació de flexibilitat presentada correspondria a una combinació de la flexibilitat quantitativa interna i funcional.

Gràcies a l'anualització la plantilla pot adaptar-se a les variacions de demanda, disminuint així el costos deguts a hores extres i subcontractacions.

Aquesta adaptació de la jornada de treball a la demanda prevista suposa un empitjorament de les condicions de treball per als treballadors, per això ha d'anar acompanyada per una negociació empresa-treballadors que sol culminar en un pacte per una reducció de jornada pels treballadors a canvi d'anualitzar-la.

Un exemple de clara aplicació de la jornada anualitzada és a França on la Llei Aubry, estableix una reducció del temps de treball a 35 hores setmanals de mitjana, sense reducció de salari a canvi de permetre l'anualització de la jornada. Així l'empitjorament de les condicions de treball es compensa amb la reducció global de la jornada laboral.

A Espanya existeix la possibilitat mitjançant negociació col·lectiva d'arribar a acords entre empresa i treballadors per a reduir la jornada a canvi d'anualitzar-la. Concretament, el "*Estatuto de los Trabajadores*" estableix que mitjançant un acord entre l'empresa i els treballadors es pot establir la distribució irregular de la jornada al llarg de l'any.

L'anualització planteja noves possibilitats en la gestió de la jornada de treball, les quals generen nous problemes de planificació, programació i assignació de tasques.



2.4.3. Polivalència

Personal polivalent és aquell capacitat per realitzar diferents tasques.

Com a resultat dels canvis que es venen produint en l'àmbit empresarial, es genera una important transformació en les professions, que implica canvis en els coneixements, capacitats i actituds exigits als treballadors, doncs les activitats a realitzar seran diferents de les que venien fent.

Degut a la situació actual del mercat, amb l'automatització de gran nombre de treballs, és indispensable per l'empresa comptar amb personal polivalent que ens permeti obtenir nivells de flexibilitat superiors. El lloc de treball tradicional caracteritzat per la realització de tasques concretes i delimitades es tendeix a substituir per llocs de treball polivalent. Els llocs de treball polivalents no estan centrats en una tasca, sinó en un grup ampli de tasques o finalitat àmplia.

S'estableixen quatre categories de polivalència dels treballadors [Albizu E., 1997] :

- Polivalència elemental, limitada a una rotació en la cadena de producció.
- Polivalència per ampliació de tasques, que requereix la posta en marxa de tècniques de treball diferents, i que compendia tasques encomanades abans a diferents oficis.
- Polivalència per enriquiment de tasques, caracteritzada per la necessitat d'ampliar els coneixements i competències dels treballadors per assolir noves capacitacions professionals.
- Polivalència de grup, que permet l'exercici col·lectiu de les funcions anteriorment confiades a grups.

Els **beneficis** que s'obtenen de tenir personal polivalent són grans.

- Millorar la capacitat de maniobra i reacció de l'empresa
- Reducció de costos
- Millora de la qualitat
- Major satisfacció del personal
- Major formació al personal



- Reducció de nivells de personal entremetjos (categories de personal)

➤ **Conclusions**

Les Organitzacions disposen cada vegada de més facilitats legals que els permeti flexibilitzar les empreses. En l'àmbit del treball en el que la majoria d'empreses tenen una demanda variable serà cada vegada més indispensable l'ús de mecanismes que permetin flexibilitzar l'empresa i d'aquesta manera poder adaptar-se millor a les condicions canviants del mercat, adaptant la demanda a la capacitat productiva de l'empresa.

Així mateix els treballadors, disposen de més possibilitats per flexibilitzar el seu temps de treball. La flexibilització sol implicar un empitjorament de les condicions de treball dels treballadors i per tant ha de venir acompanyada de compensacions per part de l'empresa que puguin ser beneficioses per als treballadors.

És per això que creiem necessari definir i crear eines que permetin una ràpida planificació, programació i assignació de tasques per a les empreses. En aquest projecte pretenem crear una eina que resolgui el problema de l'assignació de tasques a personal polivalent mitjançant múltiples criteris.



3. Modelització y Resolució

Es tracta de modelitzar el nostre sistema mitjançant un model matemàtic i obtenir resultats numèrics d'aquest model. La Figura 3.1 mostra clarament el procés de confecció d'un model matemàtic:

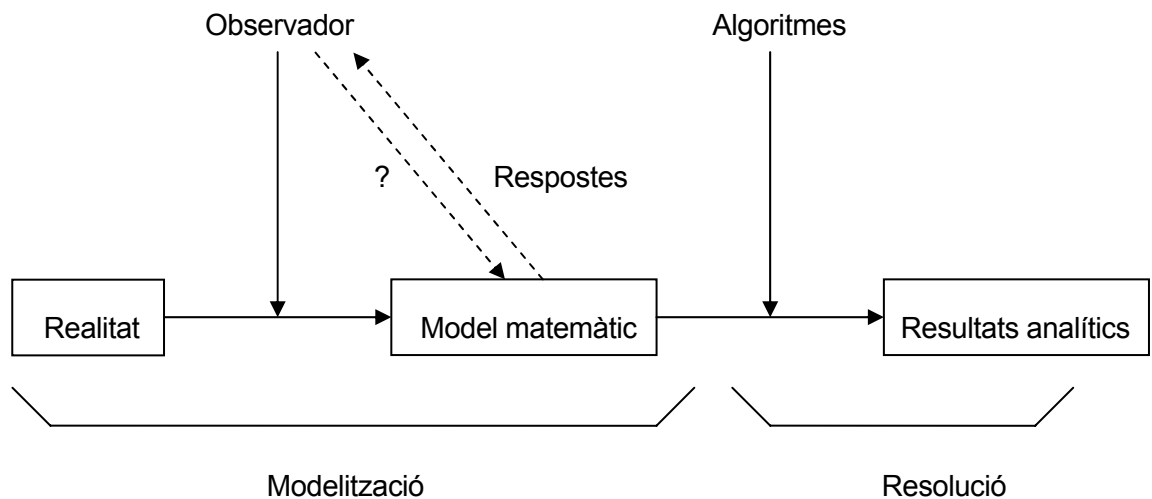


Figura 3.1

La definició de model de Minsky, diu que “M és un model de la realitat R per a un observador O, si M respon a les preguntes que es fa O sobre R” [Corominas et al, 1999].

Aquesta és la premissa en la primera etapa de modelització. A on nosaltres, adoptant el paper d'observadors, dissenyem un model matemàtic que respongui de la realitat del problema a resoldre. I permeti, posteriorment, obtenir la informació requerida per a l'usuari final.

En la posterior etapa de resolució, s'utilitzen algoritmes per resoldre el model i així obtenir els resultats per a l'usuari. En el nostre cas, l'eina de resolució del model és la computadora i el paquet informàtic OPLStudio del que parlarem més endavant.

A continuació explicarem el procés presentat aplicat al nostre cas, dividit en dos apartats un per a cada una de les etapes que acabem de veure.



3.1. Modelització

3.1.1. Realitat del problema a resoldre

L'objectiu en l'etapa de modelització, és plantejar un model matemàtic que resolgui el següent problema o realitat:

Realitzar l'assignació de les tasques, considerades en el procés productiu d'una empresa, al seu personal disponible en cada instant de temps dins un d'horitzó de planificació predeterminat.

S'afronta el problema tenint coneixement del personal disponible en cada moment i les seves característiques, així com de la demanda i particularitats de les tasques.

A més, es considerarà el següent entorn de treball:

- El personal involucrat és polivalent (amb diferents nivells de rendiment en les tasques, pel que fa a productivitat y qualitat)
- Poden ser assignades dos o més tasques a una mateixa persona per al mateix instant de temps.
- Es garanteix la demanda en cada instant de temps per a cada tasca. No existeix la possibilitat de diferir el treball no realitzat al següent interval.
- La disponibilitat de mà d'obra no és exacta a la necessària per a cada instant de temps, però mai inferior a aquesta.
- L'assignació considerada com a òptima serà aquella que satisfaci millor els següents criteris:
- Assignació de les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles.
- Adequació a les proporcions ideals de temps a dedicar a cada tasca.
- Considerar la preferència del personal a les tasques.
- Repartir la càrrega de treball entre els treballadors presents de forma el més equitativa possible.

Un cop presentat el problema a resoldre, veiem quina és l'estratègia de disseny adoptada a l'hora de modelitzar.



3.1.2. Observadors del problema. Criteris de disseny.

Seguint amb la definició de model de Minsky, l'observador és aquell que pregunta al model sobre la realitat, i si el model és model, obté respostes. Cal dir que el paper de l'observador el juga l'usuari final del programa. No obstant, nosaltres a l'hora de dissenyar el model matemàtic i donar forma a les expressions que el formen, adoptem la figura de l'observador preguntant al model i assegurant-nos que aquest respongui de la realitat el màxim possible.

Ara bé, depenent de l'usuari final o observador, la percepció de la realitat i per tant les preguntes que li farà al model variaran. El nostre objectiu és dissenyar un model que arribi al màxim d'usuaris possibles. A continuació explicarem quins han estat els criteris de disseny per assolir aquest objectiu.

Criteris de disseny

El primer pas és identificar l'usuari principal del nostre model. I entenem que aquest és qualsevol empresa a on, pel tipus activitat que realitzen i personal en plantilla existent, realitzar l'assignació de tasques sota unes directrius concretes és un dels problemes a resoldre per part de la seva direcció. És a dir, gairebé la totalitat de les empreses, excloent-hi aquelles a on la repartició de tasques està molt definida o bé en empreses d'un sol treballador autònom.

Seguidament, ens toca arribar a l'usuari final, que va més enllà del que és una empresa. Si donàvem el paper de l'observador a l'usuari final, o ara ja als directius de l'empresa, és evident que les preguntes que li faran al model o el que és el mateix, l'òptica d'afrontar el problema de l'assignació, no serà la mateixa segons de quin directiu es tracti, ja que els interessos de cada un d'ells sovint són diferents. L'evidència d'aquest fet, és la coneguda confrontació en la presa de decisions entre responsables de departaments com el de producció i qualitat, o producció i recursos humans, sense oblidar les limitacions imposades pel departament financer. La seva perspectiva dels problemes gairebé sempre és diferent, en canvi els directius del mateix departament sovint coincideixen. El problema de l'assignació de tasques al personal no és una excepció.

Amb aquesta reflexió, l'objectiu de l'etapa de modelització queda més definit: "Aconseguir que el model matemàtic respongui als requeriments demandats pels diferents directius involucrats en el procés de l'assignació de tasques, i així satisfer les necessitats del conjunt de l'empresa".

Entenem que els quatre grans departaments de qualsevol empresa tenen alguna cosa a dir en el procés d'assignació: el departament de Qualitat, el de Producció, el de Recursos



Humans i el Financer. Per tant, la nostra estratègia de disseny és posar-nos en la pell d'un directiu de cada departament i fer les preguntes que, creiem, farien al model. D'aquesta manera, hem elaborat la Taula 3.1 a on es llisten els requeriments al model, per al procés d'assignació de tasques, de cada un dels directius. Observem que en ocasions els interessos coincideixen entre departaments.

| Perspectiva Dept. Producció | Perspectiva Dept. Qualitat | Perspectiva Dept. RR.HH | Perspectiva Dept. Financer |
|---|---|--|--|
| Assignar el personal necessari per tal de garantir la demanda i els terminis d'entrega marcats. | Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles. | Evitar que un treballador hagi de front a una càrrega de treball superior a la seva capacitat. | El procés d'assignació no afecta als interessos d'aquest departament directament. Ja que l'únic cost associat al problema és el del personal, i considerem que aquest està fixat pel fet de partir de la dada de quin personal està present en cada moment, resultat de la fase de programació anterior. |
| No assignar una tasca a un treballador que presenti rendiment nul realitzant-la. És a dir, que no pugui fer-la. | No assignar la mateixa tasca a un treballador durant molts períodes consecutius. Sobretot si aquesta és de naturalesa repetitiva. | | |
| No assignar una tasca a un treballador que no està present | | Assignar de tal manera que la càrrega de treball en un mateix període estigui repartida el més equitativament possible entre tots els treballadors presents Assignar les tasques tenint en compte les preferències del personal | |

Taula 3.1



Com podem observar a la taula, els directius de cada empresa demanen al model un seguit de requeriments en concordança als seus respectius interessos:

- Departament Producció → Dur a terme el procés productiu amb normalitat i sobretot aconseguir la satisfacció de la demanda dintre dels terminis d'entrega marcats.
- Departament de qualitat → Aconseguir reduir la quantitat de producte defectuós aportant al procés els recursos més adients.
- Departament de RR.HH → Fomentar la satisfacció dels treballadors per tal de mantenir la seva motivació.
- Departament Financer → L'obtenció de benefici. Com veiem a la taula, el departament financer no presenta cap requeriment al model. Això és degut a que l'únic cost associat a l'assignació és el del personal, i aquest cost no varia en funció de l'assignació. Ja que el personal present és una dada de partida del model resultat de la tesi anterior de programació d'horaris, com havíem vist anteriorment. Aquesta circumstància no implica que dintre dels seus interessos no estigui el realitzar una assignació de tasques controlada, ja que l'últim beneficiari del model és precisament el departament financer. Una bona gestió dels recursos, en aquest cas del personal, acaba traduint-se en major benefici. Ja que fomenta la motivació del personal, la qualitat del producte final, la polivalència del treballador i conseqüent augment de la flexibilitat de l'empresa, la major satisfacció del client, millor aprofitament dels recursos, etc.

Amb aquesta estratègia aconseguim que el model representi a tots als decisors en el procés d'assignació. Ara bé, queda pendent definir en quin grau es tenen en compte cada un d'ells. És a dir, quin pes tindrà cada criteri en el resultat final. L'ordre dels criteris escollit variarà en funció de cada empresa, i normalment dependrà de la seva filosofia o visió global i del director general. No obstant, la força o pes de cada directiu dins l'organització tindrà molt a dir.

Amb això, afegim una extensió al nostre objectiu en la modelització: "Aconseguir que el model permeti prioritzar entre els diferents requeriments determinats per cada departament de l'empresa, i establir així un ordre de criteris a seguir en l'assignació de tasques al personal". Com veurem més endavant, utilitzant el mètode multicriteri farem que el model presenti aquesta característica.

En el següent punt descriurem el model obtingut sota aquesta estratègia de disseny.



3.1.3. Descripció del model

En aquesta etapa del procés, l'objectiu és modelitzar un programa matemàtic que respongui a les expectatives descrites en els dos apartats anteriors. Abans de tot situem-nos dins la programació matemàtica.

La programació matemàtica és una tècnica potent de modelització utilitzada en el procés de presa de decisions. Quan es tracta de resoldre un problema d'aquest tipus, la primera etapa consisteix en identificar les possibles decisions que es poden prendre; això ens porta a identificar les variables del problema concret. Normalment les variables són de caràcter quantitatiu i es busquen valors que optimitzin l'objectiu. La segona etapa suposa determinar quines solucions resulten admissibles; això ens porta a un conjunt de restriccions que es determinen tenint present la naturalesa del problema en qüestió. En la tercera etapa, es calcula el cost/benefici associat a cada decisió admissible; això suposa determinar una funció objectiu que assigna, a cada conjunt possible de valors per a les variables que determinen una decisió, un valor de cost/benefici. El conjunt de tots aquests elements defineix el problema d'optimització.

La programació lineal (PL), que tracta exclusivament amb funcions objectiu i restriccions lineals, és una part de la programació matemàtica, i una de les àrees més importants de la matemàtica aplicada.

Dintre de la PL hi trobem la programació lineal entera i mixta (PLEM). Si en el primer cas, les variables prenen valors reals, en la PLEM algunes variables no són reals sinó enteres, com en molts problemes de la realitat. O fins i tot estan més restringides, sent binàries, és a dir, que prenen exclusivament els valors 0 ó 1. Aquesta és la tècnica amb la que modelitzarem el nostre problema d'assignació de tasques al personal. Ja que la variable principal del problema és de tipus binari, i presenta valor 1 quan s'assigna una tasca a un treballador en un determinat instant de temps i 0 en cas contrari.

Abans de començar a descriure el nostre model, exposem a continuació els quatre components bàsics que requereix identificar qualsevol programa lineal:

- El conjunt de dades.
- El conjunt de variables involucrades en el problema, juntament amb els seus dominis respectius de definició.
- El conjunt de restriccions lineals del problema que defineixen el conjunt de solucions admissibles.
- La funció lineal que ha de ser optimitzada (minimitzada o maximitzada).



Seguint aquest guió, ara sí presentarem el model objecte del nostre projecte.

3.1.3.1. Conjunt de dades de partida

Com veurem a continuació, algunes de les dades presenten limitacions en el seu valor. D'aquesta manera el model detectarà i no admetrà, els valors erronis entrats per l'usuari que farien incoherent el procés d'assignació.

- **H → N° Intervals:**

Es tracta d'un nombre enter comprès en el rang $[0 \dots \infty]$. Indica el número d'intervals de temps en que està dividit l'horitzó de planificació. Per exemple hores, torns, dies, setmanes.

- **P → N° Personal:**

Es tracta d'un nombre enter comprès en el rang $[0 \dots \infty]$. Indica el nombre de treballadors en plantilla de l'empresa involucrats en el procés d'assignació.

- **T → N° Tasques:**

Es tracta d'un nombre enter comprès en el rang $[0 \dots \infty]$. Indica el nombre de tasques diferents a assignar pel model.

- **N_t → Càrrega de treball de les tasques:**

Vector de dimensió T, amb components reals de valor comprès en el rang $[0 \dots 1]$. Indica la càrrega equivalent, en tant per u, que representa realitzar la tasca t a un treballador qualsevol. És a dir si n_i presenta valor 0.5 vol dir que la tasca i requereix del 50 % de la capacitat d'un treballador.

- **D_{th} → Matriu de demanda:**

Matriu de rang $T \times H$. De components enteres compreses en el rang $[0 \dots \infty]$. Indica el nombre de personal necessari, en funció de la demanda, per realitzar cada tasca t en cada l'interval t.



- **$RQ_{pt} \rightarrow$ Matriu Rendiment de Qualitat:**

Matriu de rang $P \times T$. De components reals compreses en el rang $[0...1]$. Indica el rendiment de qualitat, en tant per u, que presenta cada treballador p realitzant cada tasca t .

- **$IT_t \rightarrow$ N° ideal d'interval per tasca:**

Vector de dimensió T . De components enteres compreses en el rang $[0...H]$. indica el nombre ideal d'interval a realitzar una tasca t durant tot l'horitzó de planificació H .

- **$R_{pt} \rightarrow$ Matriu de Rendiment:**

Matriu de rang $P \times T$. De components reals compreses en el rang $[0...1]$. Indica el rendiment, en tant per u, que presenta de cada treballador p realitzant cada tasca t .

LIMITACIÓ 1: Tots els treballadors han de ser capaços de realitzar com a mínim una tasca. Traduïm aquesta limitació en el model mitjançant l'expressió (Eq. 3.1):

$$\sum_{t=1}^T r_{pt} \geq 1 ; \forall p \quad (\text{Eq. 3.1})$$

LIMITACIÓ 2: Per a cada tasca, ha d'haver-hi com a mínim un treballador capaç de realitzar-la. Traduïm aquesta limitació en el model mitjançant l'expressió (Eq. 3.2):

$$\sum_{p=1}^P r_{pt} \geq 1 ; \forall t \quad (\text{Eq. 3.2})$$

- **$PP_{pt} \rightarrow$ Preferència del personal a les tasques:**

Matriu de rang $P \times T$. De components reals compreses en el rang $[0...1]$. Indica la preferència, en tant per u, que presenta cada treballador p a realitzar cada tasca t .

LIMITACIÓ: La suma de les preferències a les tasques de cada un dels treballadors ha de ser inferior a 1. Traduïm aquesta limitació en el model mitjançant l'expressió (Eq. 3.3):

$$\sum_{t=1}^T pp_{pt} \leq 1 ; \forall p \quad (\text{Eq. 3.3})$$



- **MP_{ph} → Matriu de presència:**

Matriu de rang $P \times H$. De components binàries de valor 0 ó 1. Indica, si cada treballador p està present (1) o no (0), en cada interval t .

LIMITACIÓ: El personal present en cada interval de temps mai serà superior al total de treballadors en plantilla involucrats en el procés d'assignació. Traduíem aquesta limitació en el model mitjançant l'expressió (Eq. 3.4):

$$\sum_{p=1}^P MP_{ph} \leq P ; \forall h \quad (\text{Eq. 3.4})$$

- **$MPOL_{pt}$ → Matriu de polivalència:**

Matriu de rang $P \times T$. De components binàries de valor 0 ó 1. Indica si cada treballador p té capacitat per realitzar la tasca t (1) o no (0).

- **E → N^0 màxim d'interval·s consecutius realitzant la mateixa tasca:**

Es tracta de un nombre enter, comprès en el rang $[0 \dots H]$. Indica el número d'interval·s màxims consecutius que es permet assignar la mateixa tasca a qualsevol treballador.

- **C_1, C_2, C_3, C_4 → Pesos per cada criteri:**

Es tracta de 4 nombres reals, compresos en l'interval $[0 \dots \infty]$. Indiquen el pes atribuït a cada criteri en la funció objectiu. Per tant, en funció del seu valor s'optarà per un ordre de criteris o un altre.

- **r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 → Activar o desactivar restriccions:**

Es tracta de 5 nombres binaris, de valor 0 ó 1. Presentaran valor 1 en el cas que l'usuari vulgui tenir en compte la restricció corresponent en el procés d'assignació, i 0 en cas contrari.

Aquestes són les dades que l'usuari entra al model per seguir el procés d'assignació. No obstant, existeixen altres paràmetres d'entrada, formats per combinació d'aquestes, que alimenten igualment al model. Són els següents:



- **DE_{th} → Matriu de demanda equivalent:**

Matriu de rang TxH. De components reals compreses en el rang [0 ... ∞]. Indica la demanda equivalent de personal necessari per a la tasca *t* en l'interval *h*. És a dir, tenint en compte la càrrega de la tasca. El valor de cada component s'obté de la següent fórmula (Eq.3.5):

$$de_{th} = d_{th} \bullet n_t ; \forall t \forall h \quad (\text{Eq. 3.5})$$

- **XIM_h → Càrrega equivalent ideal per interval:**

De dimensió H. Components reals compreses en [0 ... ∞]. És la càrrega equivalent de feina mitja i ideal per treballador en tot *h*. Cada component s'obté de la següent fórmula (Eq. 3.6):

$$xim_h = \left(\sum_{t=1}^T DE_{th} \right) \div P ; \forall h \quad (\text{Eq. 3.6})$$

- **TP_h → Treballadors presents en cada interval:**

De dimensió H. Components reals compreses en [0 ... P]. És el nombre de treballadors presents en tot *h*. Cada component s'obté de la següent fórmula (Eq. 3.7):

$$TP_h = \left(\sum_{p=1}^P MP_{ph} \right) ; \forall h \quad (\text{Eq. 3.7})$$

3.1.3.2. Variables

- **X_{pth} → Variable d'assignació:**

Matriu de dimensió PxTxH. De components binaries de valor 0 ó 1. És la variable principal del model ja que la resta de variables són funció d'ella. Presenta valor 1 quan li és assignada la tasca *t* al treballador *p* en l'instant *h*, i valor 0 en cas contrari.

- **XI_{ph} → Càrrega de feina per treballador i interval:**

Matriu de dimensió PxH. De components reals compreses en el rang [0 ... ∞]. Indica la càrrega de treball assignada a cada treballador *p* en un mateix instant de temps *h*. Es calcula amb la següent fórmula (Eq. 3.8):



$$xi_{ph} = \sum_{t=1}^T x_{pth} \bullet n_t ; \forall p \forall h \quad (\text{Eq. 3.8})$$

- **XE_{th} → Personal assignat a una tasca en un interval:**

Matriu de dimensió TxH. De components reals compreses en el rang [0 ... ∞]. Indica la quantitat de personal equivalent assignat per a una tasca en un instant de temps. Es calcula amb la següent fórmula (Eq. 3.9):

$$xe_{th} = \sum_{t=1}^T x_{pth} \bullet r_{pt} ; \forall t \forall h \quad (\text{Eq. 3.9})$$

- **XIT_{pt} → Intervals que un treballador ha realitzat certa tasca:**

Matriu de dimensió PxT. De components enteres compreses en el rang [0 ... ∞]. Indica el número de vegades que li ha estat assignada la mateixa tasca a un treballador durant tot l'horitzó de planificació. Es calcula amb la següent fórmula (Eq. 3.10):

$$xit_{pt} = \sum_{h=1}^H x_{pth} ; \forall p \forall t \quad (\text{Eq. 3.10})$$

- **$dXISUP_{ph}$; $dXIMIN_{ph}$ → Discrepàncies per dalt i per baix entre càrrega real i mitja:**

Nombre real de valor comprès dins el rang [0 ... ∞]. El seu valor ens indica el grau de discrepància entre la càrrega de treball real assignada a cada treballador en cada interval i la càrrega mitja, considerada com a valor ideal a aconseguir. El seu valor ve definit per la següent expressió (Eq. 3.11):

$$XI_{ph} - dXISUP_{ph} + dXIMIN_{ph} = XIM_h ; \forall p \forall h \quad (\text{Eq. 3.11})$$

- **$dXITSUP_{pt}$; $dXITMIN_{pt}$ → Discrepàncies entre nº d'intervals realitzant t en tot H i IT_t (ideal)**

Nombre real de valor comprès dins el rang [0 ... ∞]. El seu valor ens indica el grau de discrepància entre el número d'intervals que cada treballador ha realitzat determinada tasca t en tot l'horitzó de planificació, i el número d'intervals ideals que l'hauria de realitzar IT_t . El seu valor ve definit per la següent expressió (Eq. 3.12):

$$XIT_{pt} - dXITSUP_{pt} + dXITMIN_{pt} = IT_t ; \forall p \forall t \quad (\text{Eq. 3.12})$$



3.1.3.3. Restriccions

Juntament amb les funcions objectiu, són la traducció matemàtica dels requeriments demandants pels usuaris al model, presentats a la Taula 3.1. En concret aquells que impliquen una limitació obligada al valor de determinades variables, i per tant determinen el conjunt de solucions factibles del problema. En trobem cinc en el model i són les següents:

Restricció 1 → Assignar el personal necessari per tal de garantir la demanda i els terminis d'entrega marcats. Traduït a inequacions per al programa lineal amb la següent expressió (Eq. 3.13):

$$de_{th} \leq xe_{th} ; \forall t \forall h \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Restricció 2 → Evitar que un treballador hagi de front a una càrrega de treball superior a la seva capacitat. Traduït a inequacions per al programa lineal amb la següent expressió (Eq. 3.14):

$$xi_{ph} \leq 1 ; \forall p \forall h \quad (\text{Eq. 3.14})$$

Restricció 3 → No assignar una tasca a un treballador que presenti rendiment nul realitzant-la. És a dir, que no pugui fer-la. Traduït a inequacions per al programa lineal amb la següent expressió (Eq. 3.15):

$$X_{pth} \leq R_{pt} \times 10 ; \forall t \forall h \forall p \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Restricció 4 → No assignar una tasca a un treballador que no està present. Traduït a inequacions per al programa lineal amb la següent expressió (Eq. 3.16):

$$X_{pth} \leq MP_{ph} ; \forall t \forall h \forall p \quad (\text{Eq. 3.16})$$

Restricció 5 → No assignar una mateixa tasca a un treballador un número d'interval·ls seguits major al valor màxim especificat E. Traduït a inequacions per al programa lineal amb la següent expressió (Eq. 3.17):

$$\sum_{j=h-E}^h X_{ptj} \leq E ; \forall p, \forall t, \forall h \ t.q \in [E+1 \dots H] \quad (\text{Eq. 3.17})$$

NOTA: La variable X_{ptj} és equivalent a la variable principal X_{pth} . Ha estat creada per no generar errors en l'execució en la computadora.



3.1.3.4. Funció Objectiu

Així com les restriccions responen a les limitacions imposades al model de la Taula 3.1, la funció objectiu representa aquells requeriments corresponents als objectius marcats per l'usuari en el procés d'assignació:

- Assignar de tal manera que la càrrega de treball en un mateix període estigui repartida el més equitativament possible entre tots els treballadors presents.
- Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles.
- Assignar les tasques tenint en compte les preferències del personal.
- No assignar la mateixa tasca a un treballador durant molts períodes. Sobretot si aquesta és de naturalesa repetitiva.

Cada un d'aquests quatre criteris es tradueix en una funció objectiu diferent. El grau de prioritats definit per a cada un d'ells ens portarà a una determinada combinació de totes elles en la funció multiobjectiu a optimitzar pel programa lineal. D'aquesta manera, com ja havíem avançat anteriorment, utilitzant una funció global multicriteri, cada objectiu i el seu nivell de prioritats en el resultat final queden representats en la funció a optimitzar. Així es permetrà a l'usuari avaluar el problema i obtenir solucions amb els diferents criteris presentats anteriorment.

La característica d'utilitzar el mètode del multicriteri a la funció objectiu és fàcilment justificable. Ja que l'assignació no deixa de ser un problema de decisió, i per tant pot enfrontar-se des de diverses òptiques. En aquest cas, les decisions a prendre són si s'assigna o no determinada tasca a un treballador en un interval de l'horitzó de planificació. I està clar que el resultat pot ser diferent, per exemple, si l'objectiu principal és la satisfacció del personal (preferències del treballador a les tasques), o bé si el criteri dominant és fomentar rotacions del personal per les diferents tasques a realitzar. Aquesta característica permet al model arribar a diferents perfils d'usuari, així com oferir a cada un d'ells la possibilitat de variar l'ordre de criteris en cada procés d'assignació.

Dins de l'anàlisi multicriteri existeixen diverses variants pel que fa a la manera d'aplicació, o el que és el mateix, varies formes de combinar les funcions objectiu de cada criteri. En el nostre cas utilitzem el mètode de la funció utilitat, però assimilat al mètode lexicogràfic. (Veure annex A: "*Glossari multicriteri*").

La base d'aplicació del mètode lexicogràfic consisteix en establir un ordre d'importància als objectius marcats. Seguidament es resol el problema optimitzant la funció objectiu corresponent al primer criteri de la llista per separat, ja que és el de major importància. Un



cop trobades les solucions òptimes per assolir el primer objectiu, es tracta de veure quines d'elles són les òptimes segons el següent criteri de la llista. I així successivament fins a resoldre el problema per a l'últim objectiu de la llista. A la pràctica, s'ha de afegir les solucions trobades en cada procés a les restriccions del següent programa a resoldre. D'aquesta manera forcem al següent programa a escollir les òptimes d'entre el conjunt de solucions anterior. Es tracta d'anar acotant el conjunt de solucions òptimes per al primer objectiu, fins a trobar les solucions finals havent tingut en compte tots els criteris.

La manera d'assimilar el mètode de la funció utilitat al mètode multicriteri, és utilitzant pesos per a cada funció objectiu fixats de forma que cada un d'ells sigui incomparablement major que tots els que el segueixen. D'aquesta manera la prioritat donada al primer criteri és equivalent amb els dos mètodes. Condicionats per l'eina de càlcul emprada, en l'etapa de resolució hem optat per aquesta assimilació en la nostra funció objectiu. Que presentarà la següent forma (Eq. 3.18):

$$MIN[FO] = \sum_{i=1}^{i=5} C_i \cdot FO_i \quad (\text{Eq. 3.18})$$

A on $FO_i (i=1, \dots, 4) \rightarrow$ representa el valor de la funció objectiu per cada un dels 4 criteris

- $FO \rightarrow$ representa el valor de la funció multiobjectiu a optimitzar
- $C_i \rightarrow$ Els pesos per a cada criteri els fixaran els usuaris de l'empresa en qüestió. Es tracta d'un exercici molt important i delicat, ja que d'una bona elecció d'aquests pesos dependrà que els resultats obtinguts en l'assignació siguin coherents o si més no adients per a cada cas en concret.

Les expressions de les funcions objectiu per a cada criteri, com acabem de veure, les hem agrupat en 4 variables, i són les següents:

FO1 \rightarrow Indica el grau d'assoliment de l'objectiu corresponent al primer criteri. Assignar de tal manera que la càrrega de treball en un mateix període estigui repartida el més equitativament possible entre tots els treballadors presents.

L'indicador escollit per reflectir el nivell d'assoliment d'aquest objectiu depèn del valor de les discrepàncies, per dalt i per baix entre, entre la càrrega de treball assignada a cada treballador en cada interval i la càrrega ideal. La qual considerem és la càrrega de treball mitjana en funció del volum de feina a fer front i els treballadors presents. A més, cal destacar que aquestes discrepàncies només comptabilitzaran en el cas que el treballador sigui present en l'interval. L'expressió a minimitzar que tradueix aquesta descripció és la següent (Eq. 3.19):



$$\sum_{h=1}^H \sum_{p=1}^P (dXISUP_{ph} + dXIMIN_{ph}) \times MP_{ph} \quad (\text{Eq. 3.19})$$

FO2 → Indica el grau d'assoliment de l'objectiu corresponent al segon criteri. Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles.

L'expressió per a la variable que defineix aquesta funció objectiu dependrà del factor de multiplicar la variable d'assignació principal pel rendiment de qualitat associat a cada parella treballador i tasca. Per tant, es tractarà de maximitzar el valor d'aquesta variable. L'expressió és la següent (Eq. 3.20):

$$\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H (RQ_{pt} \times X_{pth}) \quad (\text{Eq. 3.20})$$

FO3 → Es tracta de la variable que indica el grau d'assoliment de l'objectiu corresponent al tercer criteri. Assignar les tasques tenint en compte les preferències del personal. L'expressió és anàloga a l'anterior, però substituint el rendiment de qualitat per la matriu de preferències del personal a les tasques. Per tant, també es tractarà de maximitzar la següent funció (Eq. 3.21):

$$\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H (PP_{pt} \times X_{pth}) \quad (\text{Eq. 3.21})$$

FO4 → Indica el grau d'assoliment de l'objectiu corresponent al quart criteri. No assignar la mateixa tasca a un treballador durant molts períodes al llarg de l'horitzó. Sobretot si aquesta és de naturalesa repetitiva. La construcció d'aquesta funció objectiu és molt semblant a la de la funció objectiu 1, es tracta de minimitzar la discrepància entre el número d'interval que cada treballador realitza cada tasca en tot l'horitzó de planificació, i un número d'interval que l'usuari considera ideals. Aquest valor ideal correspon a la dada de partida IT_t , que determina l'usuari. L'expressió és la següent (Eq. 3.22):

$$\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (dXITSUP_{pt} + dXITMIN_{pt}) \quad (\text{Eq. 3.22})$$

Normalització de les funcions objectiu

La normalització de les funcions objectiu és un aspecte molt important en els processos a on s'utilitza el mètode multicriteri. Cada criteri es tradueix en un indicador o funció objectiu el



qual presenta una unitat de mesura i un ordre de magnitud sovint diferent al dels altres. Un exemple molt intuïtiu seria el següent:

Imaginem un procés de decisió basat en l'elecció del traçat d'una carretera. Està clar que cal tenir en compte molt criteris ben diferents, com per exemple l'aspecte econòmic, el temps de trajecte per l'usuari, els quilòmetres a construir, etc. Notem que els diferents objectius es valoren en unitats monetàries, unitats de temps, distàncies, etc. I a més l'ordre de magnitud pot ser molt variable entre ells. Agrupar-los en una mateixa funció multiobjectiu i compararlos, segurament serà incoherent i de poca utilitat a l'hora d'obtenir uns bons resultats. És per això, que el que es busca en el procés de normalització de les funcions objectiu és aconseguir uns valors, per a cada criteri, adimensionals i del mateix ordre de magnitud. Que es puguin enfrontar en una funció conjunta "en igualtat de condicions".

Un dels mètodes més emprats per a la normalització de les funcions, i que aplicarem per al nostre model, és el d'expressar el valor dels indicadors per a cada criteri en percentatge. El qual reflexarà el grau d'assoliment de cada objectiu. Per fer-ho, caldrà dividir el l'expressió de cada funció objectiu pel paràmetre corresponen al valor màxim possible d'aquesta. I seguidament, multiplicar el resultat per 100 per tal d'obtenir l'indicador en tant per cent. A continuació presentarem l'expressió del denominador per a cada funció objectiu, que representa el valor màxim possible d'aquestes.

- Denominador per a la funció objectiu 1:

Recordem que la funció objectiu 1 equival al sumatori de les discrepàncies, de cada treballador en cada interval, entre la càrrega de treball que té assignada i la càrrega ideal o mitjana, segons el volum de feina a fer front i el personal present en cada interval. Considerem que el seu valor màxim s'assolirà en les condicions a on tots els treballadors presents presentin la màxima discrepància. És a dir, la càrrega mitjana. Per tant, l'expressió que determina aquest valor és (Eq. 3.23):

$$DFO1 = \sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H (MP_{ph} \times XIM_h) \quad (\text{Eq. 3.23})$$

- Denominador per a la funció objectiu 2:

La funció objectiu 2 s'expressa amb el sumatori del producte entre el rendiment de qualitat de cada treballador realitzant cada tasca i 1, en el cas de que aquest tingui la tasca assignada en l'interval, i 0 en el cas contrari. És a dir, el rendiment de qualitat multiplicat per la variable principal d'assignació X_{pth} . El valor màxim es donarà quan la totalitat de les tasques a assignar hagin estat assignades en tots els intervals de temps, a treballadors que



presentin rendiment màxim i igual a 1. Per tant, l'expressió tindrà la següent forma (Eq. 3.24):

$$DFO2 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H D_{th} \times 1 \quad (\text{Eq. 3.24})$$

- Denominador per a la funció objectiu 3:

La funció objectiu 3 és anàloga a la 2, però substituint el rendiment de qualitat per la matriu de preferències del personal a les tasques. Per tant, considerarem que el valor màxim d'aquesta es dóna en el cas que totes les tasques assignables hagin estat assignades als treballadors que presenten major preferència a cada una d'elles, és a dir 1. L'expressió que determina aquest valor és la següent (Eq. 3.25):

$$DFO3 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H D_{th} \times 1 \quad (\text{Eq. 3.25})$$

- Denominador per a la funció objectiu 4:

La funció objectiu 4 indica el sumatori de les discrepàncies, de cada treballador present per a cada tasca, entre el número d'interval que ha realitzat cada tasca durant tot l'horitzó de planificació i el valor considerat ideal per l'usuari. Podem considerar un valor màxim en el cas que cada treballador hagi realitzat cada tasca durant tots els intervals de l'horitzó. L'expressió que determina aquest valor és la següent (Eq. 3.26):

$$DFO4 = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T MPOL_{pt} \times H \quad (\text{Eq. 3.26})$$

D'aquesta manera, l'expressió per a cada funció objectiu normalitzada serà la resultant de dividir les variables FO_i ($i = 1, 2, 3, 4$) pel denominador corresponent que acabem de veure DFO_i ($i=1, 2, 3, 4$).

La impossibilitat de formar expressions no lineals, no ens permet dividir per variables a l'hora de normalitzar les funcions. Per tant, arribar a un valor de percentatge per a cada funció normalitzada comprés estrictament entre [0...100] es fa més difícil. Això és degut a que trobar l'expressió exacta pel valor màxim de cada funció és més complicat sense intervenir variables. No obstant, cal dir que l'objectiu de la normalització l'aconsegim, ja que obtenim resultats adimensionals del mateix ordre de magnitud, i per tant comparables en la funció global multiobjectiu.



3.2. Resolució

En l'etapa de resolució, mitjançant eines matemàtiques, es resol el model i s'obtenen els resultats, en el nostre cas l'assignació òptima al problema. Aquestes eines són algoritmes de càlcul i dintre de la resolució de problemes de programació lineal entera i mixta (PPLEM) en trobem diversos. A continuació, presentem una breu descripció d'un parell d'ells.

3.2.1. Mètodes de resolució de PPLEMs

- El mètode de ramificació i acotació (RA)

El mètode RA resol PPLEMs resolent una seqüència ordenada de PPL, que s'obtenen relaxant les restriccions d'integritat i afegint restriccions addicionals. El número de restriccions addicionals creix a mesura que el procediment de RA progressa. Aquestes restriccions permeten separar la regió factible en subregions complementàries.

El procediment RA estableix inicialment cotes inferior i superior del valor òptim de la funció objectiu. El mecanisme de ramificació augmenta progressivament el valor de la cota inferior i disminueix també progressivament el valor de la cota superior. La diferència entre aquestes cotes és una mesura de la proximitat de la solució actual a la òptima, si aquesta existeix.

En minimitzar, s'obté una cota inferior de la solució òptima relaxant les restriccions d'integritat del PPLEM inicial i resolent el PPL resultant. De manera anàloga, el valor de la funció objectiu per a qualsevol solució del PPLEM original és una cota superior de la solució òptima.

- El mètode dels talls de Gomory

Un mètode alternatiu de solució de PLEM és el procediment dels talls de Gomory. En aquesta tècnica, es resol el problema original relaxat en el que s'inclouen restriccions addicionals, que redueixen la regió factible sense excloure solucions que compleixen les condicions d'optimalitat. En cada iteració s'afegeix una restricció que es denomina tall de Gomory. Aquest procediment genera progressivament una envoltura convexa de la regió factible entera-mixta, el que origina solucions que compleixen les condicions d'integritat.

Com hem vist, els algoritmes de càlcul comporten la resolució de forma iterativa de diferents PL. Aquest exercici normalment resulta bastant ferragós i costós, sobretot amb programes matemàtics de tamany considerable. No obstant, existeixen paquets informàtics que permeten resoldre aquest tipus de problemes de manera més ràpida i senzilla mitjançant una computadora. Com per exemple el programa OPLStudio, amb el que hem resolt el nostre



programa lineal i que utilitza el mètode de ramificació i acotació. Més concretament, amb el seu solver ILOG-CPLEX, del que parlarem a continuació.

3.2.2. Modelització de problemes mitjançant l'OPLStudio, ILOG-CPLEX

L'OPLStudio és un modelitzador matemàtic produït per l'empresa ILOG, la finalitat del qual és simplificar la tasca de construir models matemàtics. Aquest model posteriorment pot ser resolt mitjançant programació lineal, entera o quadràtica o bé per programació per restriccions.

L'OPLStudio és un entorn de desenvolupament integrat per a la modelització de programes matemàtics i aplicacions d'optimització combinatòria. El programa consisteix en un interface gràfic per al llenguatge de modelització OPL. Les funcionalitats del programa són:

- Crear i modificar models i projectes mitjançant un editor de text.
- Executar un model o un projecte.
- Debugar les clàusules d'un model mitjançant un conjunt d'eines de correcció.
- Veure els resultats d'un model per un joc de dades donat.
- Seleccionar opcions de programació matemàtica.
- Connexió amb bases de dades.
- Escriure comandes d'execució múltiple.
- Generar fitxers de codi en C++ per al model donat.

Els models OPL, una vegada complets, són transformats al seu conjunt d'equacions linears i lògiques i resolts mitjançant el solver adequat. OPL actualment disposa del següents solvers disponibles:

- CPLEX: Paquet per a la resolució de problemes de programació lineal, programació lineal entera, mixta i programació quadràtica.
- SOLVER: Paquet per a la resolució de problemes de programació de restriccions.
- PLANNER: Conjunt d'utilitats addicionals a CPLEX ó SOLVER per a la resolució de problemes de planificació i assignació.



- DISPATCHER: Conjunt d'utilitats addicionals a SOLVER destinades a la resolució de problemes de rutificació.
- SCHEDULER: Conjunt d'utilitats addicionals a SOLVER destinades a la resolució de problemes de seqüenciació amb limitació de recursos.

El programa automàticament selecciona el solver i equacions més adequades per al model i passa a la seva resolució. En cas d'utilitzar el paquet CPLEX, el sistema es limitarà a oferir el resultat exacte, mentre que en el cas d'utilitzar el paquet SOLVER, anirà informant de les solucions que trobi segons avanci la recerca.

En el nostre cas, el SOLVER utilitzat ha estat el CPLEX per a la resolució d'un PPLEM. A la pràctica, hem hagut de programar el nostre model amb el llenguatge OPL i introduir-lo al programa. A partir d'aquí es crea un fitxer que s'alimenta de les dades d'entrada introduïdes per l'usuari, en el nostre cas mitjançant un fitxer d'Excel connectat al model.

Un cop el programa coneix el model i les dades d'entrada, tan sols hem d'executar-lo i el programa ens dona el resultat de la solució o assignació òptima al problema. A més el programa et facilita una sèrie de paràmetres de sortida com ara el temps de càlcul, valor de totes les variables, nº de restriccions i variables, ... Tots ells molt útils a l'hora de valorar l'abast del model així com per avaluar el seu comportament davant diferents condicions de càlcul derivades pel valor de les dades entrades.

En l'annex B podem observar la "*Traducció del model al llenguatge de programació de l'OPLStudio.*"



4. EXPERIMENTACIÓ

4.1. Introducció

Hem realitzat una fase d'experimentació amb l'objectiu principal de validar el model, d'identificar l'abast d'aplicació del nostre programa i de determinar la influència de determinats paràmetres en el temps de resolució.

Es tracta de conèixer per quines combinacions de dades d'entrada és admissible el programa, i per contra quines combinacions de dades fan que l'experimentació sigui massa lenta, i per tant no efectiva.

El fet que una solució sigui o no admissible dependrà de la relació entre el temps d'execució i el nombre de períodes pels quals s'està realitzant l'experimentació.

Per una simulació que triga una hora a realitzar-se, si l'horitzó pel qual s'està calculant, és d'una setmana la solució serà admissible, per contra si l'horitzó de simulació és de quatre hores, segurament serà una solució dolenta.

En aquesta etapa no pretenem fer un anàlisi exhaustiu dels resultats obtinguts sinó, verificar que el programa funciona correctament, per una sèrie de dades d'entrada bastant estandaritzades, en uns temps raonables.

4.2. Generació de les dades

Hem realitzat simulacions amb una àmplia bateria de dades, a fi de poder fer extensiu el nostre estudi al major nombre d'empreses i situacions diferents.

El conjunt de dades d'entrada utilitzades per a l'experimentació es troben a l'annex C "*Taula de dades d'experimentació*". Aquest arxiu és un document en Excel que està connectat amb el programa a través de les comandes Sheetconnection i Sheetread (del CPLEX) utilitzades per connectar i llegir respectivament del full de dades a l'Excel.

Les possibles combinacions de dades bàsiques que hem introduït es resumeixen en la taula següent:



| | | | | |
|-----------------|---|----|----|-----|
| Personal | 5 | 25 | 50 | 100 |
| Tasques | 3 | 6 | 10 | |
| Horitzó | 8 | 24 | 40 | 80 |

Taula 4.1

- **Personal (P):**

Com s'aprecia a la taula el rang de personal que hem introduït va des de 5 a 100 persones. Creiem que en aquest rang de personal, hi trobaríem la majoria de les empreses susceptibles d'utilitzar el programa. Per a empreses amb molts treballadors es podria utilitzar de manera específica per a alguns departaments o seccions de l'empresa.

- **Tasques (T):**

El nombre de tasques simulades va entre 3 i 10 tasques. Creiem també que és un nombre habitual de tasques diferents a realitzar, i a més aquestes poden estar també agrupades en grups de tasques.

- **Horitzó (H):**

Ens hem plantejat 3 possibles horitzons de temps:

- 8: representa 8 períodes de temps, es podria assimilar a un torn de 8 hores
- 24: representa l'experimentació de 24 períodes de feina
- 40: en el cas de simular tota una setmana de 40 hores repartides en horaris de 8 hores / dia
- 80: representa l'experimentació de 80 períodes que es podria entendre com 2 setmanes de treball.

En el cas de l'horitzó (H), el nombre de períodes a simular (8, 24, 40, 80) s'hauria de determinar per l'empresa, en determinats casos pot interessar la simulació i assignació en períodes de 1 hora, en d'altres de mitja jornada, o inclòs de 1 dia sencer.

Per tal de satisfer la demanda s'ha de complir que el volum de feina a fer front o demanda ha de ser inferior o igual al treball total assignat, és a dir:

$$R_{pt} \cdot X_{pth} \geq D_{th} \cdot n_t \text{ (restricció 1)}$$

Hem introduït un conjunt de dades que satisfacin aquesta restricció.



Comentem la resta de dades d'experimentació a continuació:

- **Càrrega de les tasques (Nt):**

Hem suposat que totes les tasques tenien una càrrega de 1, és a dir que implicaven la plena dedicació per part d'un operari en aquell interval de temps per a poder realitzar-la.

- **Intervals ideals per tasca (Itt):**

Hem suposat que el nombre ideal d'interval·ls per tasca es corresponia aproximadament amb el quocient entre el nombre d'interval·ls H i el nombre de tasques T per els quals s'està realitzant l'experimentació afavorint així que el personal realitzi el major nombre de tasques.

- **Matriu de Demanda (Dth):**

Hem considerat una matriu de demanda de tasques adaptant la demanda a la capacitat productiva de l'empresa. D'aquesta manera la matriu de demanda, que es tradueix en nombre de persones necessàries realitzant una tasca, coincideix per a cada interval amb el nombre de persones presents a l'empresa.

- **Rendiment de qualitat (RQpt):**

Hem introduït aleatòriament valors de rendiment de qualitat entre 0 i 1 per a cadascun dels treballadors i tasques.

- **Rendiment de productivitat (Rpt):**

Hem suposat un rendiment de productivitat igual a 1 per cada treballador i tasca.

- **Preferència del personal a les tasques (PPpt):**

Hem introduït aleatòriament les preferències dels treballadors per a cada tasca, tenint en compte que la suma d'aquestes preferències ha de ser igual a 1.

- **Matriu de presència (MPph):**

Hem suposat que tot el personal està sempre present en cada interval de temps, per tant aquesta matriu és igual a 1.

- **Matriu de polivalència (MPOLpt):**

Hem suposat que tot el personal implicat és polivalent per a totes les tasques i per tant aquesta matriu és igual a 1.



- **Màxim intervals realitzant la mateixa tasca (E):**

Hem suposat que el nombre màxim d'intervals realitzant la mateixa tasca sigui 4 intervals.

- **Pesos per a cada criteri (C1, C2, C3, C4, C5):**

Hem experimentat donant el mateix valor a cada criteri i igual a 1.

A part de les dades comentades, hem realitzat moltes altres experimentacions modificant alguns dels paràmetres anteriors tals com E, Dth, Itt, C1, C2, C3, C4, Nt, Rpt. Els temps de resolució obtinguts no han variat gaire respecte als valors inicials (excepte en el cas de Dth, que comentarem més endavant). Aquests resultats poden observar-se a l'annex D "*Resultats de l'experimentació amb la variació de paràmetres d'entrada*".

Limitació de les dades

Les dades introduïdes suposen una visió idealitzada del que podria ser una situació real, però en aquesta etapa, es tracta de veure que el programa retorna unes solucions amb uns temps raonables en unes condicions estandaritzades.

El model admet casuístiques diferents de les plantejades a l'experimentació, com és el cas de personal que no estigui present tot el temps, o diferents torns de treball, etc.

En el següent punt del projecte (experimentació amb un cas real) les dades de partida s'assimilen totalment a una situació real.

4.3. Procés d'experimentació

El procés d'experimentació utilitzat per el CPLEX, consisteix en resoldre successius problemes d'afectació. CPLEX parteix d'un conjunt de solucions factibles i el va acotant fins a arribar a la solució òptima.

Hem realitzat l'experimentació de totes les combinacions possibles de la Taula 4.1, i per cadascuna d'elles hem calculat el temps de resolució, el nombre de variables generades i el nombre de restriccions generats, opcions que són algunes de les sortides que ens dona el CPLEX com a resultat de l'experimentació.



Els models resultants s'han resolt utilitzant ILOG-OPL Studio 3.7 IDE. En la resolució dels models s'han mantingut les toleràncies relatives i absolutes establertes per defecte en ILOG-OPL Studio, 1E-04 i 1E-06 respectivament.

Les proves s'han realitzat en un PC Pentium 4 a 3 GHz i 5123 Mb de RAM.

Els resultats obtinguts els podem observar a la següent taula (Taula 4.2):

| DADES INTRODUIDES | | | RESULTATS OBTINGUTS | | |
|-------------------|----|----|---------------------|-----------|--------------|
| P | T | H | Temps [s] | Variables | Restriccions |
| 5 | 3 | 8 | 1,03 | 433 | 622 |
| 5 | 3 | 24 | 1,30 | 1201 | 1918 |
| 5 | 3 | 40 | 1,38 | 1969 | 3214 |
| 5 | 3 | 80 | 1,80 | 3889 | 6454 |
| 5 | 6 | 8 | 1,16 | 742 | 1120 |
| 5 | 6 | 24 | 1,36 | 2038 | 3472 |
| 5 | 6 | 40 | 1,66 | 3334 | 5824 |
| 5 | 6 | 80 | 2,59 | 6574 | 11704 |
| 5 | 10 | 8 | 1,30 | 1154 | 1784 |
| 5 | 10 | 24 | 1,61 | 3154 | 5544 |
| 5 | 10 | 40 | 2,26 | 5154 | 9304 |
| 5 | 10 | 80 | 2,97 | 10154 | 18704 |
| 25 | 3 | 8 | 1,47 | 2053 | 2902 |
| 25 | 3 | 24 | 2,16 | 5701 | 8998 |
| 25 | 3 | 40 | 3,25 | 9349 | 15094 |
| 25 | 3 | 80 | 9,67 | 18469 | 30334 |
| 25 | 6 | 8 | 2,03 | 1200 | 3502 |
| 25 | 6 | 24 | 4,91 | 9598 | 16192 |
| 25 | 6 | 40 | 6,91 | 15694 | 27184 |
| 25 | 6 | 80 | 25,20 | 30934 | 54664 |
| 25 | 10 | 8 | 2,38 | 5434 | 8264 |
| 25 | 10 | 24 | 3,89 | 14974 | 25784 |
| 25 | 10 | 40 | 6,69 | 24154 | 43304 |
| 25 | 10 | 80 | 17,67 | 47554 | 87104 |
| 50 | 3 | 8 | 2,11 | 4078 | 5752 |
| 50 | 3 | 24 | 3,80 | 11326 | 17848 |
| 50 | 3 | 40 | 7,77 | 18574 | 29944 |
| 50 | 3 | 80 | 27,69 | 36694 | 60184 |
| 50 | 6 | 8 | 2,89 | 6952 | 10300 |
| 50 | 6 | 24 | 14,72 | 19048 | 32092 |
| 50 | 6 | 40 | 29,60 | 31144 | 53884 |
| 50 | 6 | 80 | 185,99 | 61384 | 108364 |
| 50 | 10 | 8 | 4,05 | 10784 | 16364 |
| 50 | 10 | 24 | 9,34 | 29344 | 51084 |



| | | | | | |
|-----|----|----|---------------|--------|--------|
| 50 | 10 | 40 | 13,22 | 47904 | 85804 |
| 50 | 10 | 80 | 55,83 | 94304 | 172604 |
| 100 | 3 | 8 | 3,41 | 8128 | 11452 |
| 100 | 3 | 24 | 8,61 | 22576 | 35548 |
| 100 | 3 | 40 | 18,44 | 37024 | 59644 |
| 100 | 3 | 80 | 96,50 | 73144 | 119884 |
| 100 | 6 | 8 | 5,17 | 13852 | 20500 |
| 100 | 6 | 24 | 38,70 | 37948 | 63892 |
| 100 | 6 | 40 | 133,41 | 62044 | 107284 |
| 100 | 6 | 80 | 257,99 | 122284 | 215764 |
| 100 | 10 | 8 | 6,58 | 21484 | 32564 |
| 100 | 10 | 24 | 16,05 | 58444 | 101684 |
| 100 | 10 | 40 | 51,97 | 95404 | 170804 |
| 100 | 10 | 80 | 252,80 | 187804 | 343604 |

Taula 4.2

4.4. Resultats i conclusions de l'experimentació

Dels resultats obtinguts a l'experimentació, observem que el temps de resolució depèn de dos factors:

- La dimensió del problema
- El conjunt de solucions factibles

Observem que el temps de càlcul depèn proporcionalment de les dades introduïdes al programa per realitzar l'experimentació, és a dir de la **dimensió del problema (P*T*H)**, així com de les variables i restriccions generades.

Per tal de demostrar-ho hem graficat el temps de resolució de l'experimentació respecte a la dimensió del problema (P*T*H) i respecte al nombre de variables i restriccions generades, tal i com veiem a la figura següent (Figura 4.1):



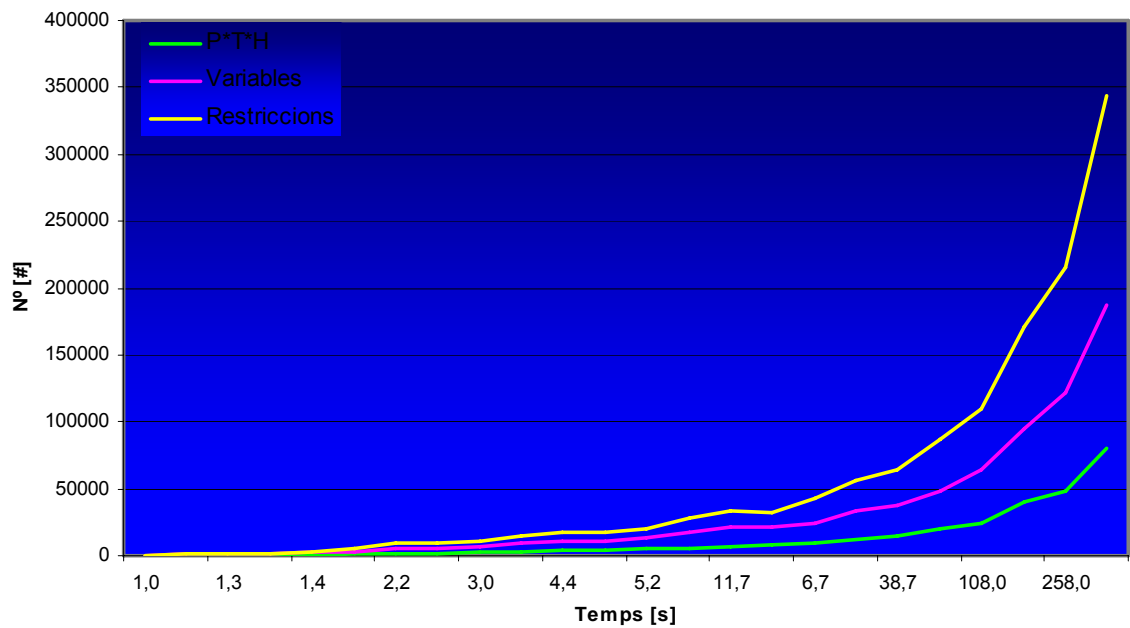


Fig 4.1: Evolució del temps d'experimentació respecte a la dimensió del problema i al nombre de variables i restriccions generades.

Observem que el temps de procés creix amb l'augment del nombre de variables i restriccions i la dimensió del problema, com era d'esperar.

Aquesta afirmació, no es compleix en determinades ocasions degut a que el temps de resolució depèn també del **conjunt de solucions factibles**.

Com ja hem comentat anteriorment CPLEX parteix d'un conjunt de solucions factibles i a partir d'aquí les va acotant cada vegada més fins arribar a una solució òptima.

Un augment en el nombre de restriccions o de la dimensió del problema pot suposar que el conjunt de solucions factibles del que parteix inicialment el CPLEX per a resoldre el problema estigui més acotat i que per tant el temps de resolució sigui inferior.

Si el conjunt de possibles solucions del problema està ben acotat, l'experimentació funcionarà més ràpid que si no ho està. El conjunt de solucions factibles està acotat per les restriccions, i aquestes depenen dels paràmetres d'entrada. La restricció que pot comportar més problemes és la que afecta a la demanda, és a dir, que l'assignació es durà a terme sempre que la capacitat productiva pugui suplir la demanda prevista.

Per tal de d'observar això hem realitzat experimentacions modificant els valors de demanda entrats. Els resultats han estat els següents:



| Dth (columnes) | TEMPS [s] |
|---------------------------|------------------|
| 50 | 13,22 |
| 49 | 22,59 |
| 48 | 28,59 |
| 47 | 65,47 |
| 46 | 63,74 |
| 45 | 338,54 |
| 44 | 309,84 |

Taula 4.3

Per al cas $P=50$, $T=10$, $H=40$ i un $Dth=50$ (suma per columnes coincident amb el nombre de persones presents) el temps de resolució obtingut ha estat de 13,22 s. A mesura que disminueixo el valor de demanda per una mateixa capacitat productiva el temps augmenta perquè les possibles assignacions entre les que ha de decidir el model són més elevades i per tant triga més.

Per tant, si volem una experimentació que ens funcioni el més ràpid possible ens interessa acotar la demanda, adaptant-la a la capacitat productiva (que es tradueix en nombre de persones realitzant tasques).

Aquesta situació ens sembla bastant lògica per les següents raons:

- La fase d'assignació que estem realitzant és la darrera, del procés de planificació, programació, assignació (tal i com hem comentat amb anterioritat), per tant, és lògic suposar que una vegada arribada a la fase d'assignació, ja estarà determinat el nombre de persones exactes per suplir la demanda prevista.
- Per una altra part la majoria de les empreses tenen dimensionada la plantilla per satisfer una certa demanda.

Per tant, es tracta d'introduir unes dades, bastant ajustades a la capacitat productiva de l'empresa, que acotin al màxim el conjunt de solucions possibles, disminuint així el temps de simulació.

En el cas de la implantació de l'eina a una empresa, s'hauria de definir i planificar un període de proves per al correcte ajustament de les dades d'entrada i d'altres paràmetres del programa.

Partint de la premissa anterior, els temps de càlcul obtinguts són molt raonables per la majoria dels casos simulats.



En definitiva, creiem que el programa podria ser utilitzat amb èxit en la majoria de les empreses petites i mitjanes, amb uns temps de resolució òptims, sempre i quan les dades d'entrada estiguin ben ajustades.





5. Validació del model amb l'aplicació a un cas real

Fins ara hem dissenyat un model matemàtic que ens permet obtenir resultats per l'assignació de tasques al personal d'una empresa. Hem determinat també el seu abast pel que fa al ventall d'empreses a les que podria arribar a donar servei, tenint en compte l'admissibilitat o no del temps de càlcul del programa segons les necessitats de cada cas.

En aquest apartat es tracta d'avaluar l'eficàcia d'aquest model. És a dir, comprovar si aquest respon realment a les expectatives i requeriments que els usuaris li demanen. En la fase de disseny vàrem veure que el model el creàvem a partir d'aquest requeriments de l'usuari, traduint-los en les diferents restriccions i funcions objectiu. Per tant, podem afirmar que l'eficàcia del model dependrà de l'eficàcia de les restriccions i les funcions objectiu que el formen, així com del seu comportament en conjunt. Les comprovacions que farem, per tant, seran:

Per a les restriccions:

Que els resultats obtinguts respecten les limitacions i especificacions determinades a les restriccions.

Per a les funcions objectiu:

Que els resultats obtinguts responen dels criteris escollits i del seu ordre de prioritat.

Aquesta comprovació del comportament del model la farem mitjançant la seva aplicació a una empresa real en particular. D'aquesta manera, disposarem d'una perspectiva més realista del problema a resoldre, i ens permetrà avaluar els resultats obtinguts de forma més clara i intuïtiva.

Realitzarem diverses experimentacions per processos d'assignació en les que analitzarem el compliment d'aquestes expectatives.

Per una banda executarem el programa, amb les condicions de partida de la nostra empresa, considerant l'existència de criteris dominants. És a dir, donant un pes més alt respecte els altres, a cada una de les funcions objectiu per separat. I comprovarem que els resultats obtinguts segueixen cada criteri. Per una altra banda, realitzarem la mateixa comprovació per un procés d'assignació segons una llista de prioritats dels criteris.



D'aquesta manera, haurem avaluat l'efectivitat de totes les funcions objectiu per separat, i conjuntament. Per a cada simulació, comprovarem també el compliment de les restriccions del model.

5.1. Descripció de l'empresa

Hem escollit una empresa del sector industrial a on, per les característiques del seu procés de fabricació, queda més que justificada la utilització d'un sistema d'assignació de tasques al personal controlat. Es tracta d'una indústria de sinterització per a la fabricació de peces metàl·liques de precisió en grans sèries.

La naturalesa del seu procés de fabricació permet obtenir varies formes de peça sense la necessitat de grans variacions en la infraestructura existent. Això fa que la gamma de possibles productes sigui molt diversa, així com els sectors d'on provenen els seus clients. No obstant, l'activitat de l'empresa es centra majoritàriament en la fabricació de peces metàl·liques amb aplicacions en el sector de l'automoció i l'aeronàutica. Complements com ara, coixinets, etc.

A continuació explicarem detalladament el procés de fabricació de la nostra empresa així com les etapes que el formen.

5.1.1. Procés de fabricació

El procés de fabricació es caracteritza per la utilització de la tècnica del sinteritzat. Es tracta d'una moderna tècnica per a l'obtenció de peces metàl·liques a partir de la compactació i posterior tractament tèrmic d'una mescla formada de diferents tipus de pols metàl·lica i additius. Les diferents etapes del procés són les següents:

- **Mescla:** Es conforma la matèria primera per al producte. Es tracta d'una barreja de pols metàl·lica, additius i el lligant. Aquest últim actua de lubricant a més de facilitar la compactació de la mescla. Mitjançant unes balances es determina la quantitat justa de cada component per posteriorment homogeneïtzar la mescla resultant.
- **Compactació:** L'operació de compactació serveix per donar forma a la peça, compactant el material de la primera etapa a l'interior d'una matriu, amb les dimensions i formes desitjades per al producte mitjançant unes premses. Es fa en tres etapes:



- 1a etapa: Omplir

La matèria primera, s'introdueix mitjançant un carregador, per gravetat, a la cavitat de l'utilatge constituït per la matriu, el noio i els punxons inferiors. La barreja de pols té una densitat aparent de l'ordre de 2,3 vegades a la densitat de peça a compactar.

- 2a etapa: Compactar

El volum de pols contingut a l'utilatge es comprimeix mitjançant el desplaçament axial relatiu als punxons. L'augment de densitat del compacte a mesura que augmenta la pressió axial aplicada, segueix la denominada corba de compressibilitat. Per raons de fiabilitat de l'utilatge, la pressió màxima de treball se situa entre 500 i 700 Mpa, depenent de la robustesa del disseny.

Mitjançant la tecnologia de la compactació en calent, s'aconsegueix un augment de densitat en el compacte de 0,1/ 0,2 gr/cc respecte a l'obtinguda amb la mateixa pressió en fred.

- 3a etapa: Extraure

La peça un cop compactada és extreta de l'utilatge mitjançant moviments relatius dels punxons entre si i entre la matriu i el noio, havent de vèncer esforços elevats de fregament entre la peça compactada i les parets laterals de l'utilatge a causa de l'expansió elàstica residual del conjunt peça-utilatge. Un mecanisme, normalment solidari amb el carregador, s'ocupa d'agafar la peça un cop extreta de la matriu i desplaçar-la per poder reiniciar tot seguit l'etapa d'omplir.

- **Sinterització:** Durant el procés de sinterització, les peces són sotmeses a un cicle tèrmic amb temperatura i atmosfera controlades. En aquesta fase es produeix la difusió entre partícules i es generen les soldadures entre els grans de pols, que són la base de les propietats mecàniques i físiques de les peces. El procés consta de tres etapes diferenciades:

- 1a etapa: Escalfament

En aquesta etapa, les peces s'escalfen fins a un nivell determinat per eliminar el lubricant usat i per fer més fàcil la compactació i aconseguir una bona homogeneïtat de temperatura de tota la càrrega.



- 2a etapa: Sinterització

La sinterització es fa en presència d'atmosfera reductora i amb un cicle de temperatura el màxim del qual, denominat temperatura de sinterització, està per sota de la temperatura de fusió del material i és, habitualment, 1120°C.

Per a alguns materials especials o quan cal assolir prestacions superiors a les normals, es pot sinteritzar a temperatures més elevades.

- 3a etapa: Refredament

Depenen del tipus de forn i del material a sinteritzar, existeixen dues opcions:

- Estàndard: És un refredament lent l'objectiu del qual és evitar l'oxidació de les peces quan surten del forn i s'exposen a l'ambient.
 - Refredament ràpid: Alguns forns estan equipats amb una zona de refredament ràpid per convecció. Amb aquest tipus de refredament i utilitzant els materials adients, s'aconsegueixen propietats mecàniques i físiques sense fer tractaments tèrmics posteriors.
- **Emmagatzematge:** En aquesta etapa del procés es col·loquen les peces de producte acabat en palets per ser classificats i portats al magatzem.

NOTA: Depenen del tipus de producte, aquest pot requerir d'alguna fase complementària d'acabat o calibrat abans de ser emmagatzemat. Fases que no considerarem en aquesta experimentació.

5.1.2. Antecedents i motivacions

Actualment l'assignació de tasques al personal és competència de l'encarregat de cada secció. El qual, amb més o menys fortuna, distribueix el personal per les diferents estacions de treball en cada interval de temps. Hi ha molts aspectes que es descuiden en aquest procés d'assignació, com per exemple les rotacions dels treballadors en diferents tasques, o bé les preferències d'aquests. Tot plegat, ha fet que la direcció es plantegi si molts dels problemes que hi ha a les línies de fabricació de la planta es deriven o se'n vegin agreujats, entre d'altres, per la política de personal que es duu a terme, incloent-hi a l'assignació de tasques en ella.

El personal en plantilla el formen majoritàriament treballadors amb contractes temporals de 6 mesos que difícilment es renoven, amb l'excepció dels més veterans. Quant el seu contracte



venç, són substituïts per nous treballadors els quals se'ls hi dona formació específica per les tasques que hauran de desenvolupar, segurament només durant els següents 6 mesos.

Els problemes derivats d'aquestes circumstàncies són els següents:

- El personal és poc qualificat ja que mai no disposa de l'experiència necessària per conèixer a fons la seva feina. Fet que afecta a la qualitat del producte final. A més, normalment només arriba a veure parts del procés, mentre que la resta és totalment desconegut per a ell. La conseqüència a tot això és, apart de l'afectació a la qualitat del producte esmentada, la disminució de la flexibilitat de l'empresa davant de variacions puntuals de la demanda, degut a la poca polivalència del seu personal. Que no és capaç de realitzar certes tasques, bé per no haver-les tingut mai assignades o bé per manca dels coneixements tècnics necessaris.
- Les expectatives de fer-se amb un lloc fix i d'un futur dins l'empresa són gairebé nul·les per part dels treballadors, amb la conseqüent desmotivació i poc compromís vers la seva feina i l'empresa respectivament.
- Aquesta desmotivació i poc compromís s'incrementen tenint en compte que el treballador passa la seva jornada realitzant les mateixes tasques repetitivament. Tasques d'un procés que no coneix a fons, raó per la que mai es podrà sentir identificat amb allò que fa.
- Considerant que rarament es tracta d'una professió vocacional, la direcció creu que la motivació del treballador hauria de ser despertada un cop entra a formar part de l'empresa. Per fer-ho, cal conèixer les seves preferències i inquietuds i actuar en conseqüència, per exemple amb l'assignació de tasques, per tal d'aconseguir la màxima satisfacció del personal. Actualment no es pren cap mesura d'aquest tipus, i el desencís dels treballadors es veu reflectit en la qualitat del producte. Ja que un treballador content rendeix i treballa millor que un d'insatisfet.

Un indicador clar de tot plegat és l'elevat absentisme que pateixen les línies de fabricació de la planta.

L'estratègia que es planteja la direcció de l'empresa és la d'apostar més pel personal. Amb l'objectiu d'aconseguir disposar d'un personal qualificat i polivalent, amb un alt grau de compromís amb la seva feina. S'ha considerat prendre les següents mesures correctores:

- Incrementar els contractes fixes
- Donar formació completa sobre els coneixements tècnics i pràctics necessaris per dur a terme qualsevol tasca de la línia



- Fomentar la rotació del personal per totes les estacions de treballs, en la mesura del possible, com a complement a aquesta formació
- Tenir en compte les preferències del personal en el procés d'assignació de tasques

L'assoliment d'aquests objectius és la motivació per la qual l'empresa decideix utilitzar el nostre model d'assignació de tasques al personal. Ja que servirà d'eina per gestionar la realització de gran part de les mesures vistes. Com ara són assignar segons les preferències del personal o fomentar la rotació dels treballadors. Sense oblidar altres aspectes que ofereix com assegurar la qualitat del producte, equilibrar la càrrega de treball per tots el treballadors, o evitar la realització de tasques repetitives de manera continuada. Atributs que segueixen la mateixa direcció que l'estratègia esmentada.

5.2. Condicions de partida al problema

Per al nostre cas, aplicarem el model d'assignació de tasques a una sola de les línies de fabricació de la planta. Podem considerar l'experiment com a una prova pilot que en cas de resultar favorable provoqui la implementació d'aquesta sistemàtica a tota la planta. El cert és que també ens permetrà treballar amb uns valors més petits, pel que fa a la magnitud del nombre de variables i restriccions, que faran més fàcil el plantejament del problema així com més analitzables els resultats obtinguts.

A continuació presentem el valor de les dades d'entrada que resulten de les condicions de partida a la nostra línia de fabricació:

- **Horitzó de planificació (H):**

L'horitzó de planificació per al procés d'assignació serà d'una jornada de 8 hores de treball separada en intervals d'una hora de duració ($H=8$).

La raó principal d'aquesta elecció per a l'horitzó de planificació és la variabilitat de la demanda. Recordem que la demanda en cada interval de temps és una dada de partida per al model. Per tant realitzar un procés d'assignació amb un horitzó de planificació a llarg termini, implicaria conèixer el valor exacte d'aquesta demanda amb antelació per als intervals futurs. Tenint en compte que la producció de l'empresa és just in time i que la demanda varia en funció de les comandes existents, considerem el període d'una setmana l'òptima elecció per a l'assignació. Ja que per horitzons més grans ens arisquem a que el resultat de l'assignació perdés validesa i hagués de ser actualitzat segons la variació de la demanda.



Dividir l'horitzó en períodes d'1 hora és necessari degut als requeriments que farem al model. Ja que la naturalesa repetitiva de les tasques implicarà una rotació del personal per les diferents estacions de treball amb aquest ordre de magnitud per la freqüència.

Cal remarcar que aquesta elecció no s'espera inadmissible pel que fa al temps de càlcul. Segons els resultats de l'experimentació del punt anterior, els temps de càlcul per a processos d'aquest ordre, considerant també les tasques i treballadors del nostre cas, no supera mai els cinc minuts. I creiem que és factible i raonable dedicar aquest temps abans d'iniciar-se cada jornada.

- **Tasques a realitzar (T):**

Trobem sis tasques diferenciades (T=6), lligades a les diferents etapes del procés:

t1 → Preparació de la pols. L'operari destinat en aquesta estació de treball s'encarregarà del pesatge de cada component en les balances i la dosificació d'aquests, per posteriorment realitzar la mescla a les cuves existents.

t2 → Compactació. Aquesta tasca correspon a la manipulació de les màquines de premsat del producte. Consta de les operacions de càrrega, premsat, i descàrrega de la màquina.

t3 → Supervisió zona premses. Hi ha un operari encarregat de supervisar el correcte funcionament de les màquines d'aquesta fase. Aquest només realitza operacions de suport així com reparacions en cas d'incidència. Per la naturalesa del càrrec i els coneixements que implica, com veurem, no a tots als operaris se'ls hi podrà assignar aquesta tasca.

t4 → Sinterització. Consisteix en controlar els forns a on es realitza el tractament tèrmic del producte amb el fi de donar-li les propietats mecàniques adequades.

t5 → Supervisió zona forns. Anàlogament a la tasca 2, en la zona dels forns també es disposa d'un operari encarregat de solucionar qualsevol tipus d'incidència.

t6 → Magatzem. Consisteix en preparar l'expedició del producte classificant i posteriorment embolant el producte acabat.

Un cop descrites les tasques a assignar, anem a detallar altres dades de partida per al model relacionades amb les tasques:



| | T1 Preparació pols | T2 Compacta ció | T3 Compacta ció | T4 Forns | T5 Supervisió forns | T6 Magatzem |
|-----|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|---------------------------|----------------|
| ITt | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nt | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Taula 5.1

Recordem que:

ITt → Indica el nombre ideal d'interval·s a dedicar a una tasca per un treballador en tot l'horitzó.

Nt → Indica, en tant per u, la càrrega de treball que suposa la tasca per la seva naturalesa.

- **Personal (P):**

El personal present en cada jornada de 8 hores és de 11 operaris (P=11). Seguint l'estratègia de personal per la direcció comentada anteriorment, a aquests treballadors se'ls hi ha donat formació de les diferents tasques involucrades en el procés. Per tant, es tracta de treballadors polivalents gairebé capaços de realitzar qualsevol tasca. I diem gairebé degut a que les tasques de supervisió, t3 i t5 vistes anteriorment, només són assignables a treballadors que per la seva experiència disposen dels coneixements necessaris per realitzar-les. Cal remarcar que, com veurem a continuació, presenten rendiments de qualitat diferents per a aquestes tasques. Aquesta condició, com a conseqüència a llarg termini de l'aplicació del model, tendirà a una situació amb treballadors totalment polivalents amb rendiments de qualitat, si més no iguals, tots ells amb valors alts.

A continuació detallem el valor d'altres dades de partida per al model que caracteritzen a cada treballador:

- **Rendiment productiu:** Recordem que es tracta del valor, en tant per u, que indica el rendiment productiu de cada treballador realitzant cada una de les tasques. Observem que la matriu presenta valors 1, en el cas que el treballador es capaç de realitzar la tasca, i 0, en cas contrari. No existeixen valors compresos entre 0 i 1 ja que l'automatització del procés provoca que la capacitat productiva no depengui tant del factor humà. Igualant-se els valors de rendiment.



| Rpt | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| p1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| p2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| p5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| p8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| p11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Taula 5.2

- **Rendiment de qualitat:** Indica el grau, en tant per u, en que cada treballador realitza correctament la seva feina. Observem a la matriu que només per les tasques t3 i t5 els rendiments de qualitat varien entre els operaris, adquirint valor 0 en el casos no assignables i compresos en el rang $[0,1]$ per la resta. Aquest fet és degut a la implicació dels coneixements tècnics necessaris per realitzar la tasca, que cada treballador posseirà em major o menor grau.

| RQpt | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|------|----|----|------|----|------|----|
| p1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,75 | 1 |
| p2 | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 0 | 1 |
| p3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| p5 | 1 | 1 | 0,75 | 1 | 0 | 1 |
| p6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,8 | 1 |
| p8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p9 | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 1 | 1 |
| p10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| p11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Taula 5.3

- **Preferències del personal:** Es traca de la matriu que indica, en tant per u, la preferència de cada treballador a l'hora de realitzar cada una de les tasques. En l'anterior punt a on



s'explicaven les motivacions de la direcció de l'empresa, veiem que una de les mesures correctores era precisament tenir en compte les preferències del personal en el procés d'assignació de tasques. Aquesta dada al model s'alimenta d'aquest fet, mitjançant la comunicació entre la direcció i els operaris. Cal destacar també, que es compleix la limitació a aquesta dada que obliga a sumar 1 al seguit de valors corresponents a les preferències de cada un dels treballadors per al total de tasques.

| PPpt | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|------|------|-------|-----|-------|-----|-------|
| p1 | 0,05 | 0,025 | 0 | 0,4 | 0,5 | 0,025 |
| p2 | 0,6 | 0,05 | 0,3 | 0,025 | 0 | 0,025 |
| p3 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,05 | 0 | 0,05 |
| p4 | 0,05 | 0,05 | 0 | 0,3 | 0,4 | 0,2 |
| p5 | 0 | 0,3 | 0,4 | 0 | 0 | 0,3 |
| p6 | 0 | 0,3 | 0,7 | 0 | 0 | 0 |
| p7 | 0,1 | 0 | 0 | 0,2 | 0,6 | 0,1 |
| p8 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 |
| p9 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0 | 0 | 0 |
| P10 | 0,1 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0,7 |
| p11 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 0 | 0 |

Taula 5.4

- **Matriu de polivalència (MPOLpt):** Correspon als valors que indiquen si un treballador es capaç de realitzar la tasca o no. Com ja havíem apuntat anteriorment la polivalència dels treballadors és bastant alta però no total, degut a les tasques més tècniques que només són assignables als operaris més qualificats. En aquest cas, els valors de la matriu coincideixen amb els de la matriu de rendiment productiu.
- **Matriu de demanda:** Els seus valors venen expressats en número de persones requerides per a cada tasca en cada interval de temps. Normalment el valor de la demanda ens arriba en número d'unitats de producte final demandat. Per arribar al número de persones caldria fer el següent exercici de conversió: partint de les unitats requerides, s'ha de determinar el número de vegades a realitzar cada tasca per aconseguir una unitat de producte, i a partir d'aquí, en funció de la capacitat productiva i la càrrega de cada tasca, determinar el número de persones necessàries per realitzar cada tasca. En el nostre cas, tractant-se de l'assignació d'una sola línia de producció, hem considerat les persones necessàries a cada tasca per dur a terme el procés de la línia, a plena capacitat o rendiment. Els valor són els següents:



| Dth | h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | h8 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| t1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| t2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| t3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| t4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| t5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| t6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Taula 5.5

En el cas de realitzar el procés d'assignació a tota la planta, sí que caldria partir de la dada d'unitats de producte final demandat i fer l'exercici de conversió anterior. D'aquí en trauríem el personal necessari a cada tasca, a repartir entre totes les línies de producció. Per tant, seria possible que no s'hagués de produir en totes elles.

La situació no admissible seria aquella en que es demandés més persones de les existents. És a dir, que la demanda fos superior a la capacitat productiva. Ja que, recordem, una de les restriccions del model no inclou com a factible aquesta situació.

- **Matriu de presència (MPph):** Les components de la matriu de presència indiquen amb el valor 1 si el treballador està present en determinat interval h, i amb el valor 0 el cas contrari. En principi, el resultat de la tesis de programació d'horaris de Jordi Ojeda seria el que alimentaria a aquesta matriu. De manera que, en tot moment, hi hauria presents el número de persones necessàries en funció de la demanda. Per al nostre cas, tractant-se d'una sola jornada laboral i considerant que la programació d'horaris queda fora de l'estudi d'aquest projecte, hem considerat que la plantilla la formen exclusivament els operaris presents en la jornada en qüestió. Per tant, el valor de les components de la nostra matriu de presència presenta valor 1 en tots els casos, per a cada treballador i interval.
- **Limitació al número d'interval seguits realitzant la mateixa tasca (E):** Tenint en compte la naturalesa repetitiva de les tasques, el número de tasques, i els intervals de l'horitzó, creiem que per assegurar una rotació adequada el valor òptim per a aquesta limitació és de 2 intervals.



5.3. Anàlisi dels resultats de l'assignació amb criteris dominants

El model disposa d'una funció multiobjectiu formada per cinc funcions, una per a cada criteri. En aquest apartat farem la comprovació de l'eficàcia de les expressions corresponents a cada una d'elles per separat. És a dir, veurem si el seu grau de determinació i d'influència al resultat final és el que s'espera.

Per fer-ho, com ja havíem avançat, realitzarem cinc processos d'assignació cada un d'ells amb el pes d'una de les funcions objectiu diferenciadament alt respecte els pesos dels altres criteris. I seguidament analitzarem els resultats per confirmar que responen als criteris escollits. En concret fixarem el valor del pes dominant (C_i) en 1000 deixant la resta amb valor 1.

Els resultats de cada assignació no els presentarem en la seva totalitat a la present memòria. Ja que representa omplir pàgines i pàgines de taules per a cada cas i , per la seva extensió, no ho considerem oportú. Aquests resultats es poden observar a l'annex E "*Resultats de l'aplicació del model a una empresa de producció*". No obstant, farem notar els valors de les variables significatives per a cada cas, de manera que ens permetran comprovar si el comportament de cada funció és l'adient.

5.3.1. Assignació per al cas amb la funció objectiu 1 dominant

Recordem l'objectiu per a la primera funció: "Assignar de tal manera que la càrrega de treball en un mateix període estigui repartida el més equitativament possible entre tots els treballadors presents."

A continuació comprovarem si el model realment prioritza el criteri del primer objectiu respecte els altres. Per fer-ho, analitzarem el valor de certes variables que ens serviran d'indicador de l'assoliment d'aquest objectiu. Aquestes variables són:

$X_{i,ph}$ → Recordem que es tracta de la matriu que indica el valor de càrrega de treball que presenta cada treballador en cada interval de temps. Per tant, si la funció objectiu 1 es efectiva en el model, el seu valor serà el més equitatiu possible en columnes i el més proper al valor de la càrrega mitjana, considerat ideal.



| XI_{ph} | h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | h7 | H8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| p1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| p11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Taula 5.6

Per al nostre cas, resulta evident que l'objectiu s'assoleix al 100% ($FO1=100$). Aquest fet, es degut a les condicions de partida al problema. Existeix una tasca a assignar per a cada treballador. A més, tant els rendiments productius dels treballadors com les càrregues de les tasques són 1. Per tant, amb aquestes condicions de partida, resulta poc rellevant aquesta funció objectiu.

$XISUP_{ph}$ i $XIMIN_{ph} \rightarrow$ Una altra manera de comprovar l'eficàcia del comportament d'aquesta funció objectiu és amb el valor d'aquestes variables. Recordem que indiquen les discrepàncies per dalt i per baix entre XI_{ph} i la càrrega mitjana XIM_h . En aquest cas, el valor per aquestes és de 0 per a cada treballador i interval. Per tant, els resultats presenten discrepàncies mínimes, tal i com s'esperava.

Podem afirmar que la funció objectiu 1 és efectiva i el seu comportament és el desitjat.

5.3.2. Assignació per al cas amb la funció objectiu 2 dominant

Recordem quin és l'objectiu per a la segona funció: "Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles."

A continuació presentem les següents gràfiques a on podem observar, per a cada tasca, el nombre de vegades que ha estat assignada a cada treballador al llarg de l'horitzó, a partir dels resultats obtinguts. Si la funció objectiu és adequada, el model haurà assignat més vegades cada tasca, als treballadors que presenten rendiment de qualitat més alt respecte els altres per a cada una d'elles.



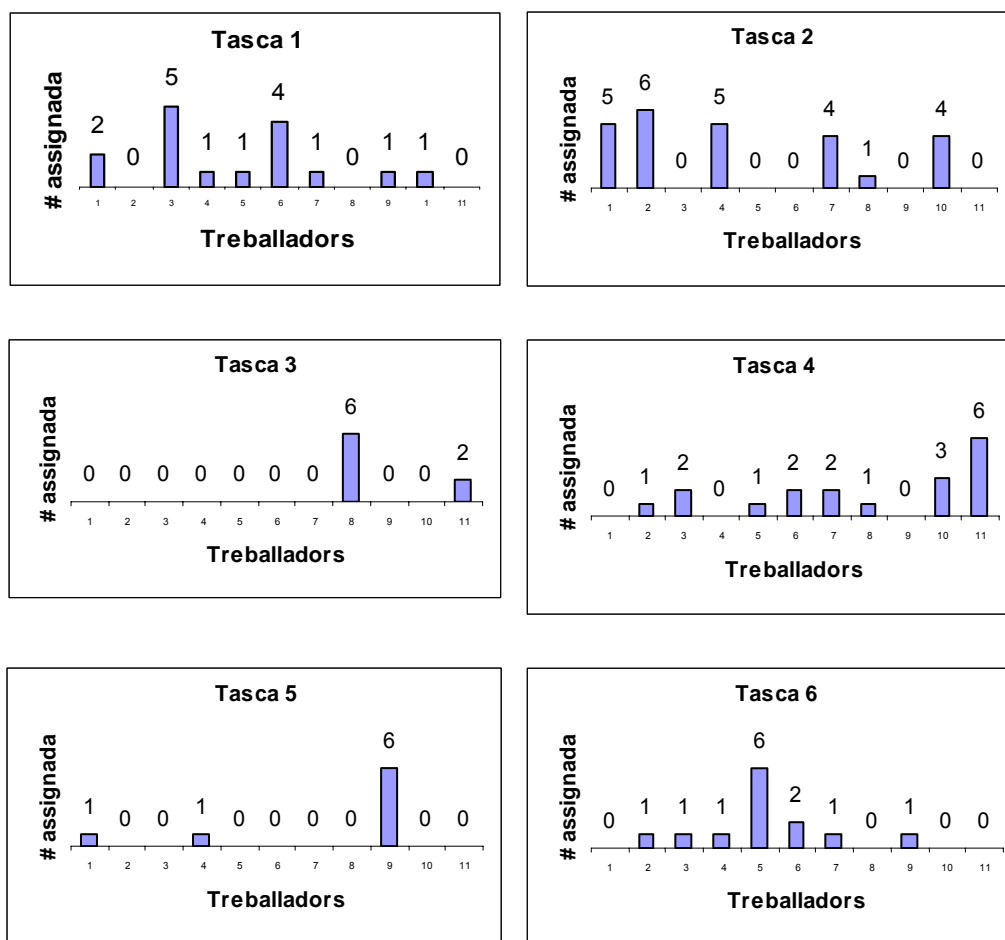


Fig. 5.1

Observant la taula de rendiments de qualitat comprovem que els treballadors que a la gràfica apareixen com màxim realitzadors de cada tasca, són els que presenten major rendiment de qualitat. Prenent més significació per les tasques 3 i 5 ja que els valors per als rendiments són més diferenciats:

El model ha assignat les tasques als treballadors més qualificats per a cada una d'elles. Per tant, la funció objectiu es comporta com s'espera d'ella.



| RQpt | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|------|----|----|------|----|------|----|
| p1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,75 | 1 |
| p2 | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 0 | 1 |
| p3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| p5 | 1 | 1 | 0,75 | 1 | 0 | 1 |
| p6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,8 | 1 |
| p8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| p9 | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 1 | 1 |
| p10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| p11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Taula 5.7

5.3.3. Assignació per al cas amb la funció objectiu 3 dominant

Recordem quin és l'objectiu per a la tercera funció: "Assignar les tasques tenint en compte les preferències del personal".

Comprovarem l'eficàcia d'aquesta funció de manera anàloga al punt anterior. En aquest cas, els treballadors als qui se'ls ha assignat un major número de vegades cada tasca, seran aquell que presentin una preferència a ella més elevada:

| PPpt | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|------|------|-------|-----|-------|-----|-------|
| p1 | 0,05 | 0,025 | 0 | 0,4 | 0,5 | 0,025 |
| p2 | 0,6 | 0,05 | 0,3 | 0,025 | 0 | 0,025 |
| p3 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,05 | 0 | 0,05 |
| p4 | 0,05 | 0,05 | 0 | 0,3 | 0,4 | 0,2 |
| p5 | 0 | 0,3 | 0,4 | 0 | 0 | 0,3 |
| p6 | 0 | 0,3 | 0,7 | 0 | 0 | 0 |
| p7 | 0,1 | 0 | 0 | 0,2 | 0,6 | 0,1 |
| p8 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 |
| p9 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0 | 0 | 0 |
| p10 | 0,1 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0,7 |
| p11 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 0 | 0 |

Taula 5.8



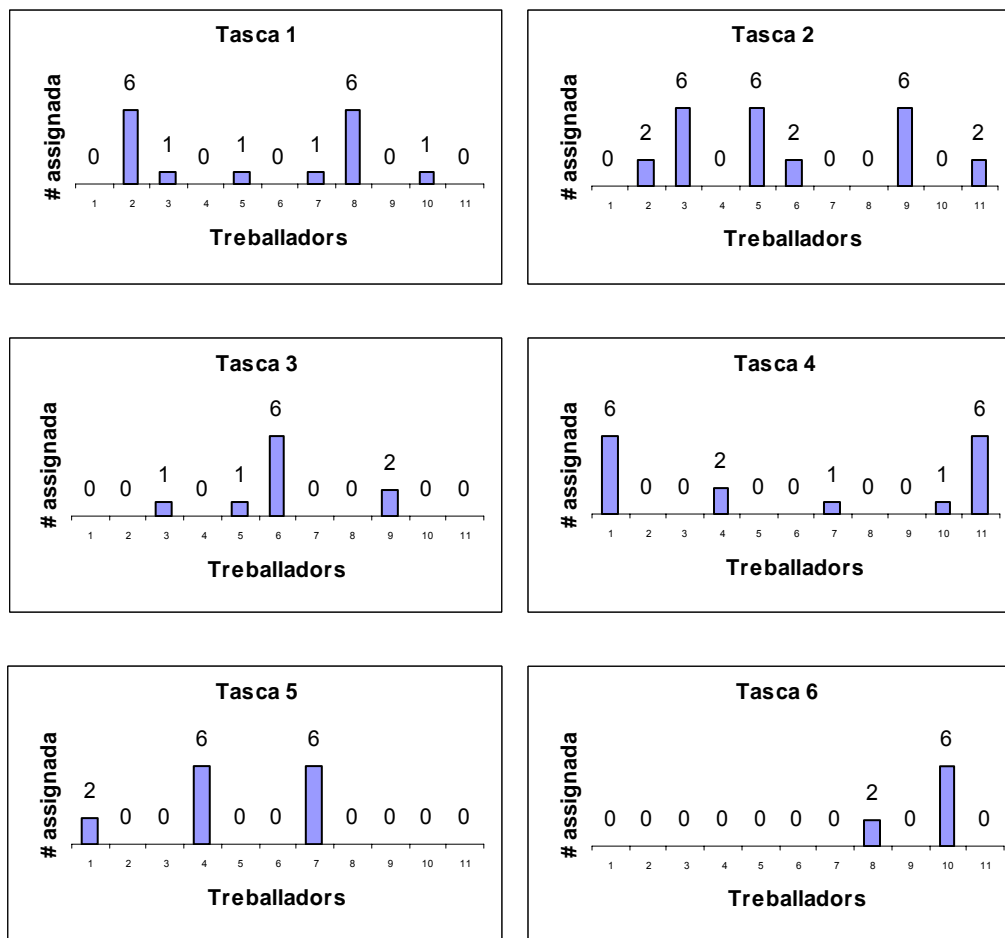


Figura 5.2

Efectivament, observem que el model ha assignat les tasques tenint en compte les preferències del personal. Per tant, la funció objectiu 3 es comporta adequadament.

5.3.4. Assignació per al cas amb la funció objectiu 4 dominant

Recordem l'objectiu per a la quarta funció: “No assignar la mateixa tasca a un treballador durant molts períodes. Sobretot si aquesta és de naturalesa repetitiva.”

Les variables que ens serviran per avaluar aquesta quarta i última funció objectiu són $XITSUP_{pt}$ i $XITMIN_{pt}$. Recordem que indiquen les discrepàncies per dalt i per baix entre el nombre de vegades que cada treballador a realitzat cada tasca en tot l'horitzó, i el nombre ideal de vegades donat pel paràmetre d'entrada IT_t . Amb les condicions del nostre cas $IT_t=1 \forall t$, veiem quin és el valor de les variables:



| XITSUP_{pt} | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| p1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| p2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| p7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| p8 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| p10 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| p11 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |

Taula 5.9

| XITMIN_{pt} | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| p1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| p2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| p3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| p4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| p5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| p6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| p7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| p8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| p9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| p10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| p11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Taula 5.10

Observem que, en algun cas puntual, la màxima discrepància és de tres, que correspon a haver assignat un total de 4 vegades una mateixa tasca a un mateix treballador en tot l'horitzó ($IT_t + \text{discrepància}$). Tenint en compte que, prioritzant altres criteris el model arriba a assignar fins a sis cops la mateixa tasca (veure gràfiques apartats anteriors), s'observa que en aquest cas el model evita la repetició de tasques al màxim possible. Malgrat les limitacions imposades per les condicions inicials que restringeixen el problema.



Per tant, podem afirmar que la quarta funció objectiu, i per tant ja totes elles, es comporten de manera adequada en el model. Fent que el model aporti els resultats esperats en cada cas.

5.4. Anàlisi dels resultats de l'assignació amb llista de prioritats de criteris

En els punts anteriors, hem comprovat que les funcions objectius per separat actuen en el model de manera satisfactòria. Ja que influeixen en els resultats obtinguts tal i com s'espera d'elles. En aquest punt, tractem d'enfrontar-les entre elles amb diferents pesos, segons una llista de prioritats, i veure com es comporta el model i quins són els resultats obtinguts.

Hem realitzat dos experimentacions a partir de les llistes de prioritats d'objectius que, creiem, confeccionarien dos usuaris del model amb un perfil diferenciat.

Per una banda, el perfil d'un empresari que es decantés abans de tot per la qualitat del producte. Deixant en segon terme la satisfacció del personal. Per aconseguir reflectir aquest perfil en el model utilitzem els següents valors per als pesos de cada funció objectiu:

$$C_1=1 ; C_2=1000 ; C_3=10 ; C_4=100$$

La llista de prioritats de criteris per a aquest usuari seria la següent:

1. Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles.
2. Assignar de tal manera que els treballadors realitzin cada una de les tasques el número de vegades ideals al llarg de l'horitzó de planificació.
3. Assignar tenint en compte les preferències del personal a cada tasca.
4. Assignar per tal de equilibrar la càrrega de treball entre els treballadors presents.

Per una altra banda, el perfil d'un empresari que considera molt rellevant la satisfacció del personal pel bon funcionament de l'empresa. Els pesos per a cada funció objectiu són els següents:

$$C_1=1 ; C_2=10 ; C_3=1000 ; C_4=100$$

1. Assignar tenint en compte les preferències del personal a cada tasca.



2. Assignar de tal manera que els treballadors realitzin cada una de les tasques un número de vegades ideal al llarg de l'horitzó de planificació.
3. Assignar les tasques al personal més qualificat realitzant cada una d'elles.
4. Assignar per tal de equilibrar la càrrega de treball entre els treballadors presents.

Notem que els dos usuaris col·loquen el primer criteri en últim lloc. En realitat, més que per les conviccions de cada empresari, això és degut a que treballem amb les condicions de partida de l'empresa escollida per a l'experimentació. I com hem vist al punt anterior, la funció objectiu 1 no és gaire rellevant per a les dades que defineix el nostre problema a resoldre.

Els resultats per a aquestes dues experimentacions els recollim en l'annex E. No entrarem a detallar aquest anàlisi dels resultats perquè resultaria repetitiu respecte el realitzat anteriorment per a cada funció per separat. Com a conclusió, direm que es corresponen a la llista de criteris en cada cas. Les funcions prioritàries condicionen al model de tal manera que l'assignació és coherent als requeriments de cada perfil d'usuari.

La veritable conclusió que traiem d'aquesta experimentació és la importància i el paper determinant dels pesos assignats a cada objectiu en la funció multicriteri. El procés de determinar el valor de cada un d'ells, és clau a l'hora d'obtenir uns resultats ajustats a les necessitat de cada empresa. I segurament, portarà a un seguit de proves fins a arribar als valors adients a cada cas.

De manera anàloga s'ha realitzat una experimentació aplicant el model a una empresa de serveis . Els resultats poden observar-se a l'annex F "*Resultats de l'aplicació del model a una empresa de serveis*".





6. ESTUDI ECONÒMIC

En aquest apartat ens centrarem en analitzar els aspectes econòmics que estan relacionats amb el projecte. Com ara, els costos associats a la seva realització, la viabilitat de la seva sortida al mercat, o els beneficis que aportaria la seva aplicació a una empresa. En definitiva, ens hem fet les següents preguntes:

- Quins són els costos associats al projecte?
- És rentable la seva comercialització?
- Com afectaria als resultats de l'empresa que implantés el model?

Aquestes tres preguntes les hem utilitzat com a guió del present apartat. D'aquesta manera, la resposta a cada una d'elles la trobem en els tres punts que venen a continuació:

6.1. Costos de realització del projecte

La suma del total de les despeses associades a la realització del projecte pot variar molt en funció de la situació considerada. Plantegem l'opció d'una empresa que es proposa invertir en la nostra iniciativa de projecte. Les possibles condicions de partida que es poden considerar són moltes si només tenim en compte els recursos disponibles, com ara equipament informàtic, llicències del software emprat, etc. Per a cada cas, el total serà diferent, ja que les partides a considerar en el pressupost no seran les mateixes.

Entrar en suposicions d'aquest tipus pot resultar poc rigorós. És per això, que en aquest punt, així com en tot l'apartat, hem plantejat el problema en primera persona. Apropant-nos, d'aquesta manera, el màxim possible a la realitat. I considerant que som nosaltres els qui ens plantegem la iniciativa que proposa el projecte que hem realitzat.

Per tant, hem comptabilitzat el total de les despeses que hem hagut de fer front els dos alumnes d'enginyeria industrial involucrats, en el decurs d'un any de realització del present projecte.

A continuació presentem el pressupost a la taula 6.1:



| DESCRIPCIÓ | PREU UNITARI | QUANTITAT | TOTAL |
|--|--------------|-----------|------------------|
| Matrícula del Projecte Final de Carrera. A aquest import s'atribueixen les despeses d'utilització dels equipaments de l'escola, així com les assegurances i l'assessorament del tutor, per als dos alumnes. | 347,34 € | 2 | 694,68 |
| Honoraris. L'import correspon a les hores invertides en el projecte pels dos alumnes, considerant sous d'un estudiant en pràctiques per conveni UPC. Les hores de dedicació estan determinades amb la fórmula especificada a la normativa del PFC: nº hores = 2,25 x nº Crèdits x 10 | 8,95 €/hora | 562,5 h. | 5130 |
| Altres. Material divers (fulls, llibres, etc) | 100 € | 1 | 100 |
| TOTAL | | | 5825,68 € |

Taula 6.1

Com a comentari final al pressupost, cal notar que la despesa de valor més alt, amb diferència, són els nostres honoraris. Podríem anomenar a aquest cost "indirecte", ja que no es tracta de diners gastats sinó més aviat de diners deixats de guanyar.

6.2. Viabilitat econòmica del projecte

La viabilitat econòmica d'un projecte ve determinada pel benefici que s'obté d'ell. Recordem amb l'equació 6.1 que:

$$\text{Benefici} = \text{Facturació} - \text{Despeses} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

En el nostre cas, la facturació dependrà de les ventes del model i del seu preu de sortida. Pel que fa a les despeses, ja hem vist el cost de realització del projecte. No obstant, comercialitzar el producte ens suposarà d'altres que haurem de sumar a l'anterior.



Seguint amb la idea de plantejar el problema en primera persona, hem considerat la situació a on nosaltres engegarem la iniciativa de llençar el model al mercat, mitjançant la creació d'una empresa.

A continuació, presentem un petit estudi a on avaluem i determinem la viabilitat d'aquesta empresa. L'activitat de la qual és comercialitzar el model per a l'assignació de tasques al personal.

6.2.1. Pla d'empresa

6.2.1.1. Idea de negoci

Es tracta de vendre a les empreses el model d'assignació de tasques al personal.

6.2.1.2. Origen i motivacions

Les raons que ens mouen a emprendre una iniciativa com aquesta són diverses. En la present memòria ja hem parlat dels beneficis directes i indirectes que aporta el model a l'empresa. Com ara fomentar la polivalència dels treballadors i així la flexibilitat, o bé la satisfacció del personal amb el que això suposa. Creiem que aquests beneficis representen actualment a molts dels objectius de qualsevol empresa preocupada en la bona gestió de recursos, i en general en la millora continua dels seus processos.

Una eina de gestió com el nostre model millora clarament el "to muscular" de l'empresa, proporcionant-li, amb un enfocament més flexible i orientat als processos, el potencial per reaccionar a mercats canviant, a la dinàmica dels negocis i a les necessitats dels clients i els treballadors de l'empresa.

Tot plegat fa preveure una bona acollida del producte al mercat. A més, cal considerar que el mercat de possibles empreses pel model és inesgotable. Ja que gairebé la totalitat d'empreses resultarien beneficiades amb la implantació d'un sistema amb aquests avantatges i prestacions.

Un altre punt fort de la nostra idea de negoci el determinen les normatives de qualitat. Cada cop més implantades en totes les empreses, per raons de competitivitat o obligades per



clients exigents. És evident la relació directa i la possibilitat d'integració del nostre model amb moltes de les pautes descrites en aquestes normatives.

Per exemple, la Norma ISO 9001:2000 "Sistemes de Gestió de la Qualitat" obliga en el seu punt 7.1 "Planificació de la realització del producte" a planificar totes les etapes de la realització del producte, proporcionant els recursos necessaris (humans, infraestructura, ambient de treball).

És a dir, l'ISO 9001 obliga a realitzar una planificació de la producció. En aquest punt es podria aprofitar la utilització de l'eina creada per obtenir una assignació de tasques amb els avantatges descrits anteriorment (rotació del personal, satisfacció del personal, etc).

Per tant l'eina podria ser d'interès tant per les empreses que disposin o segueixin algun referencial de qualitat (ISO 9001, EFQM, etc) com per les empreses consultores o assessores de qualitat.

Creiem que una altra forma de comercialitzar el producte en empreses bàsicament productives o manufactureres podria ser a través d'una integració amb un ERP (Enterprise Resource Planning).

Moltes de les empreses productives disposen d'un sistema de gestió global de l'empresa centralitzat a través d'un ERP. La Planificació de Recursos Empresarials (ERP), és una forma d'utilitzar la informació a través de l'organització de forma més proactiva, en àrees claus com fabricació, compres, administració d'inventari i cadena de subministres, control financer, administració de recursos humans, logística i distribució, ventes, marketing i administració de relacions amb clients, etc.

Pel que a nosaltres ens afecta un ERP, cal dir que et permet fer una previsió de la distribució de la feina diària, mensual, per un o diversos projectes concrets, etc. L'ERP mitjançant una sèrie de dades prèviament establertes et dona una planificació de les diferents etapes per a la realització del producte. Aquesta planificació resultant et dona també els recursos necessaris (màquines, equips) per a la realització del producte. Ara bé, aquesta planificació no personalitza quines persones han de realitzar cada tasca, doncs en la majoria d'aquestes empreses cada treballador té el seu lloc de feina i no s'acostuma a especificar possibles rotacions en el lloc de treball.

La nostra idea és la d'integrar un ERP amb el programa realitzat amb la finalitat que la sortida sigui una planificació de la realització de les diferents tasques incloent recursos específics, és a dir quines persones faran cada tasca, tot utilitzant les eines de multicriteri citades anteriorment en el nostre programa.



6.2.1.3. Producte i servei

El producte a comercialitzar és el programa matemàtic que hem dissenyat, que requerirà de l'eina de resolució emprada, el solver ILOG-CPLEX de l'OPLStudio.

L'ILOG-CPLEX és un software destinat exclusivament per a la resolució de programes matemàtics, i per tant una eina molt potent en aquests casos. Pensar en substituir-lo per algun programa nou diferent als que es troben al mercat d'aquest tipus és absurd, ja que les prestacions d'aquests programes són molt altes i els resultats els més satisfactoris. Ara bé, treballar amb aquests software's, implica un entorn poc amigable i una mica incòmode si no s'està habituat i es coneix sobradament. És per això, que creiem que el model a comercialitzar hauria de presentar caràtules o pantalles per facilitar la interactuació entre el usuari i ILOG-CPLEX, en el moment de resoldre el model en cada procés d'assignació.

La venda del producte, format pel model, l'ILOG-CPLEX i les pantalles de treball, vindria acompanyada per un servei postvenda d'assessorament personalitzat durant la implantació. De cara a adequar el model a les necessitats de cada cas.

El preu de venda del nostre producte dependrà de la dificultat i la inversió d'hores en la implantació de cada cas. No obstant calculem un preu que pot oscil·lar entre els 4000 € i 6000 € per servei a cada empresa.

6.2.1.4. Anàlisi DAFO

| Amenaces | Oportunitats |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Reduït cost d'iniciació. Degut a que el producte parteix del coneixement i no de matèries primeres o grans infraestructures com maquinària, etc. D'aquesta manera es facilita l'entrada de competidors. | <ul style="list-style-type: none"> - Es tracta d'un sistema de gestió nou amb poca gent especialitzada en el tema. - Les normatives de Qualitat, com l'ISO 9001 caminen en el mateix sentit. - Les empreses sovint es veuen obligades per tercers (clients, competidors) a implantar procediments segons les normatives de Qualitat. - Integració amb ERP's |



| Punts dèbils | Punts forts |
|------------------------------------|---|
| - Empresa desconeguda en el mercat | - Donem un servei de seguiment personalitzat durant la implantació del model. Sense limitar-nos a vendre el producte. |

Taula 6.2

6.2.1.5. Identificació del Client

Els possibles clients per al nostre producte són qualsevol empresa que requereixi gestionar l'assignació de tasques de manera controlada. Per tant, gairebé la totalitat de les empreses. El model, com veiem en l'experimentació, no discrimina entre petites i grans empreses, per tant nosaltres tampoc ho farem. No obstant, es podria centrar la primera cerca de clients en empreses petites, de manera que els possibles problemes d'iniciació es presentin amb dimensions més reduïdes i menys crítiques.

Com avançàvem en l'apartat de motivacions, altres clients pel producte, que farien arribar el model a les empreses, serien les consultores de Qualitat i les empreses que comercialitzen software d'ERP. Creiem que el model els proporcionaria una eina per aconseguir un valor afegit diferenciador en el servei que ofereixen als seus clients.

Com a única segmentació del mercat a realitzar, per motius de proximitat, ens centràrem en empreses emplaçades a Catalunya.

L'estratègia de marketing per a fer-nos conèixer es basaria en el porta a porta i mailing, mitjançant la compra d'una base de dades de possibles empreses clients. Així com amb la creació d'una pàgina web.

6.2.1.6. Pla de recursos i estructura organitzativa

- Equip: l'empresa estaria formada per 4 persones, 2 d'elles a la vegada socis. L'estructura serà:
 - 2 tècnics/comercials: Són la peça clau de l'empresa. S'encarregarien de vendre el producte i posteriorment assessorar a les empreses durant la implantació del model. Necessitaran, a més de ser grans venedors, coneixements sobrats sobre el model i sobre tot allò relacionat amb la gestió de la Qualitat a les empreses.



- 1 informàtic: Haurà de disposar de coneixements amplis en programació. Serà l'encarregat de desenvolupar l'entorn de treball adequat al model que interactui entre l'usuari i l'ILOGCPLEX. També donarà suport tècnic durant la implantació del software a les empreses.
- 1 administratiu: S'encarregarà de la gestió administrativa de l'empresa.
- Recursos necessaris:
 - Locals i instal·lacions: Per a l'empresa necessitarem un local amb les dimensions adequades per treballar-hi les 4 persones sense problemes d'espai. El local haurà d'estar habilitat i condicionat, tenint en compte mobiliari, material d'oficina, serveis d'aigua i llum, etc.
 - Equips tècnics: Per tal de què els quatre treballadors estiguin perfectament connectats entre ells, tinguin una perfecta doble comunicació amb el client i es puguin moure amb facilitat, l'equip tècnic necessari és el següent:
 - Ordinadors portàtils per als quatre membres de l'empresa amb la seva corresponent connexió a internet.
 - Telefonia mòbil per als quatre treballadors i fixa al local.
 - Lloguer d'un cotxe.
 - Mitjans humans: Els mitjans humans més importants són evidentment els quatre treballadors: els tècnics/comercials, l'informàtic i l'administratiu, que són la base de l'empresa. Però a més a més hem de tenir en compte d'altres serveis humans com: un comptable, el servei de neteja i el d'acondicionament i manteniment informàtic.
 - Matèries primeres: La nostra empresa no necessita de primeres matèries. Podríem dir, com ja hem comentat abans, que les nostres primeres matèries són els coneixements dels treballadors. Per això és molt important la seva qualificació així com l'aprenentatge i l'estudi continu de les noves tecnologies que van sortint.



6.2.1.7. Planificació financera

- Pla i fonts de finançament:

A continuació presentarem les despeses a fer front tant en l'inici com durant l'exercici de l'activitat:

- Inversió inicial:

| DESCRIPCIÓ | QUANTITAT |
|-------------------------------------|-------------------|
| Cost de realització del projecte | 5825,68 € |
| Fiança lloguer del local | 2000 € |
| Habilitació del local | 2200 € |
| Equipament informàtic | 4540 € |
| Mobiliari i material d'oficina | 1800 € |
| Despeses de constitució de societat | 1500 € |
| Llicència ILOG-CPLEX | 200 € |
| TOTAL | 18065,68 € |

Taula 6.3

- Despeses fixes cada mes:

| DESCRIPCIÓ | QUANTITAT |
|---------------------------------|-----------------|
| Cost del personal | 4000 € |
| Lloguer del despatx | 500 € |
| Renting+gasoil | 600 € |
| Publicitat i promoció | 100 € |
| Aigua, electricitat | 150 € |
| Telèfon | 300 € |
| Assegurances | 50 € |
| Assessorament legal i comptable | 80 € |
| Altres | 150 € |
| Interessos crèdit | 67,5 € |
| Crèdit | 750 € |
| TOTAL | 6747,5 € |

Taula 6.4



Els diners necessaris per iniciar el nostre negoci vindran de dos fonts, però també hem de tenir en compte que tan la inversió inicial, com les despeses fixes són reduïts. Això implicarà que necessitarem una petita quantitat per iniciar-lo que serà de 27000 €.

Aquests diners provindran de :

18000 € de part dels socis. Cada un d'ells aportarà la quantitat proporcional a les participacions que tingui.

9000 € seran demanats als bancs a través d'un crèdit a un any amb un interès del 7%. D'aquesta manera evitem que els socis hagin d'aportar tot el capital necessari per arrancar el negoci.

Així el balanç d'inici de l'empresa serà:

| ACTIU | | PASSIU | |
|--------------|-------|-----------------------|-------|
| BANCS | 27000 | Capital social | 3000 |
| | | Crèdit de socis | 15000 |
| | | Crèdit a curt termini | 9000 |

Taula 6.5

- Balanç i compte de pèrdues i guanys previsional:

BALANÇ DE L'EMPRESA

| ACTIU | X0 | X1 | X2 | X3 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TOTAL IMMOBILITZAT | 18066 | 15951 | 13836 | 11721 |
| ACTIU CIRCULANT | 8934 | 22599 | 12738 | 23793 |
| TOTAL ACTIU | 27000 | 38550 | 26574 | 35514 |
| PASSIU | X0 | X1 | X2 | X3 |
| FONS PROPIS | 3000 | 23550 | 26574 | 35514 |
| ACREED. A LLARG PLAÇ | 15000 | 15000 | 0 | 0 |
| ACREED. A CURT PLAÇ | 9000 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL PASSIU | 27000 | 38550 | 26574 | 35514 |

Taula 6.6



| Compte de resultats previsionals | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|
| | X1 | X2 | X3 |
| Ventes | 105520 | 115500 | 135750 |
| (-) Cost de les ventes | | | |
| Marge Brut | 105520 | 115500 | 135750 |
| (-) Despeses de personal | 48000 | 52800 | 58080 |
| (-) Dotacions per amortitzacions | 2115 | 2115 | 2115 |
| (-) Variació de provisions de tràfic | | | |
| (-) Altres despeses d'exploració | 23160 | 24318 | 25534 |
| Resultat d'exploració | 32425 | 36267 | 50021 |
| Ingressos financers | | | |
| (-) Despeses financeres | 630 | 0 | 0 |
| Resultat financer | - 630 | 0 | 0 |
| Resultat de les activitats ordinàries | 31615 | 36267 | 50021 |
| Ingressos i beneficis extraordinaris | | | |
| Despeses i pèrdues extraordinàries | | | |
| Resultat extraordinari | | | |
| Resultat abans d'impostos | 31615 | 36267 | 50021 |
| Impostos sobre societats (35%) | 11065 | 12693 | 17507 |
| Resultat de l'exercici | 20550 | 23574 | 32514 |

Taula 6.7

Els resultats a cada exercici han estat obtinguts partint d'una previsió de ventes de l'ordre de 20 empreses, amb un augment progressiu poc significatiu a cada any. Creiem que no es tracta d'una previsió pessimista ni optimista, sinó que més aviat neutral. Ja que, com comentàvem anteriorment, oferim un bon producte amb expectatives de ser ben acollit al mercat.

Sota aquesta previsió, es pot observar com el primer any es torna tot el crèdit sense cap tipus de problema. En el segon any, es tornen tots els diners que els socis van invertir i per tant el passiu exigible de l'empresa queda reduït a 0 €. Els fons propis de l'empresa augmenten progressivament a cada exercici fet que indica que la solvència de l'empresa és molt bona. No obstant, el poc significatiu augment de les ventes considerat no empeny a invertir més diners en l'empresa, repartint-se els guanys en dividendes per als socis cada any.



➤ **Conclusions**

Es tracta d'un negoci amb baix risc degut a les reduïdes inversió inicial i despeses fixes que representa. Com hem vist en l'estudi previ, l'endeutament es retorna ràpidament en els primers anys sense cap problema.

Confirmant-se les previsions del primer any, i amb una bona estratègia de màrketing, creiem que es tracta d'una empresa rentable.

6.3. Cost i benefici d'implantació del model a les empreses

En aquest apartat tractarem el benefici i els costos d'implantació del model per a l'empresa client. En altres paraules, com afecta la utilització del model en els seus resultats.

El cost d'implantació ja hem avançat en el punt anterior que oscil·lava entre els 4000€ i els 6000€, depenent de cada cas. A més, l'empresa haurà de suportar el cost que implica la formació al personal encarregat d'utilitzar l'eina.

Pel que fa al benefici, resulta difícil generalitzar per totes les empreses amb quantitats específiques. Ja que la situació i tipologia de cada una d'elles determinarà en quin grau es veuen beneficiats els diferents aspectes de la seva empresa. A més, cal tenir en compte que molts dels beneficis són intangibles, o si més no, difícils de quantificar i relacionar amb la implantació del model. Un dels beneficis clars és la reducció de cost que implica la no utilització del temps d'un gerent en la planificació de tasques. Els altres beneficis són les conseqüències derivades de la bona gestió dels recursos que suposa la implantació del model: satisfacció del personal, augment de la qualitat, etc. Aquestes conseqüències es poden observar amb diversos indicadors com podrien ser la reducció de l'absentisme laboral o la disminució del producte defectuós.

Creiem que aquest beneficis que obtenen les empreses clients, amortitzen ràpidament el cost d'adquisició del producte.





Conclusions

Considerem que hem complert l'objectiu que ens havíem proposat, que era el disseny d'un model que permeti resoldre l'assignació de tasques a personal polivalent a partir de múltiples criteris.

Per tal d'assolir-ho hem fet una modelització del problema, l'hem implementat amb ILOG-CPLEX, i hem realitzat una àmplia experimentació a fi de validar-lo.

El model resultant s'adapta als requisits que ens havíem marcat inicialment, és a dir, realitza l'assignació de tasques a personal polivalent tenint en compte múltiples criteris. El model aconsegueix adequar a les proporcions ideals de temps a realitzar cada tasca, considera les preferències del personal, reparteix la càrrega de treball entre els treballadors de forma equitativa i assigna al personal amb més rendiment a les tasques.

El model resultant és un model genèric adaptable a qualsevol situació. No hem distingit entre empreses de serveis i empreses de producció, ni tampoc ens hem centrat en un sector concret. Creiem que és un bon punt de partida, però que seria bo i convenient adaptar el model a un sector específic tenint en compte les particularitats d'aquell sector, el que obligaria a la definició de noves restriccions i funcions objectius enfocades completament a les característiques del sector.

Pel que fa al paquet informàtic ILOG-CPLEX creiem que suposa un software potent per a la resolució de problemes de programació lineal. Malgrat això creiem que l'interface que utilitza podria ser millorat i també trobem a faltar un manual d'utilització en castellà.

Pel que fa a l'experimentació realitzada, els temps de càlcul obtinguts han estat molt raonables en la majoria de casos, i els resultats de l'assignació compleixen amb els requisits d'entrada.

Creiem també que el model podria ser comercialitzat, intentant adaptar-lo a les característiques del client, però que s'hauria de millorar l'interface del mateix, doncs com ja hem comentat, no és precisament el punt fort de l'ILOG.CPLEX.

Ens ha agradat molt la realització d'aquest projecte, ens ha fet acostar a una realitat desconeguda per nosaltres abans de la realització del mateix. Creiem que els problemes relacionats amb l'Organització del Temps de treball augmentaran exponencialment en el futur, i serà per tant necessari l'estudi dels problemes i la creació d'eines que permetin una ràpida solució dels mateixos.





Agraïments

A tot el departament de la planta 11, Institut d'Organització i Control (IOC), pel bon ambient de treball que ens hem trobat durant aquest any de realització del projecte.

I sobretot a l'Anna Maria Coves i l'Erica Rodríguez, per la seva ajuda i dedicació a nosaltres durant la realització del projecte.





Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- ALBIZU, E. *Flexibilidad laboral y gestión de los recursos humanos*, Editorial Ariel S.A., 1997.
- COROMINAS, A., CRESPÁN, J. *Organització del temps de treball*. Edicions UPC, 1993.
- COROMINAS, A., PASTOR, R. *Assignació temporitzada de tasques al personal d'un centre de serveis*, 2000.
- COROMINAS, A., PASTOR, R., BAUTISTA, J. *Optimització i simulació*, ETSEIB - CPDA 1999.
- LUSA, A. *Planificación del tiempo de trabajo con jornada anualizada*. Tesis Doctoral UPC, 2003.
- OJEDA, J. *Programación de horarios semanales de trabajadores polivalentes en un centro de servicios*. Tesis doctoral UPC 2004.
- RUESGA, S.M., LASIERRA, J.M., MURAYAMA, C., *Economía del trabajo y política laboral*. Editorial Pirámide, 2002.

Bibliografia complementària

- COROMINAS, A., OJEDA, J., PASTOR, R. *Asignación de tareas a trabajadores polivalentes considerando déficits y superávits*. Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, 2003.
- MARTÍNEZ, C., MUNUERA, P., PÉREZ, A., SALAMERO, A., VILAJOSANA, J. *Administració d'empreses transparentes*.
- MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES, Real Decreto 1/1995. *Texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores*. BOE de 29 de marzo de 2005.
- CASTILLO, E., CONEJO, A., PEDREGAL, P., GARCÍA, R., ALGUACIL, N. *Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia*, 2002.

